

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Ivica Zdelarec**

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Mladen Crneković, dipl. ing.

Student:

Ivica Zdelarec

Zagreb, 2012

*Ovaj rad posvećujem svom dragom dedi Ivanu,  
koji je preminuo 18. listopada. 2012.*

*„Pokazao si mi put i ja ću ga slijediti,  
bez obzira na sve, uvijek ću te voljeti.“*

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se profesoru Mladenu Crnekoviću na mentorstvu i zadavanju zadatka koji je pružio pravi inženjerski izazov.

Također se zahvaljujem svojoj obitelji na podršci pruženoj tijekom studiranja.

Ivica Zdelarec





SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodogradnja i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **IVICA ZDELAREC**

Mat. br.:0035161294

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **AUTOMATSKA ROBOTIZIRANA KOSILICA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **AUTOMATIC ROBOTIZED GRASS CUTTER**

### Opis zadatka:

Suvremeni kupac zahtijeva visok stupanj automatizacije svakog uređaja koji se po prvi puta nađe na tržištu, ali i poboljšanje karakteristika već postojećih, dobro mu znanih uređaja. Nerijetko je to zapravo jedini način da se takav uređaj proda.

Kosilice za travu uređaji su koji se prodaju masovno uz relativno nisku cijenu. U pravilu zahtijevaju operatera i njegovu vještinu rukovanja uređajem. Samo u Sjedinjenim državama svake se godine zabilježi oko 12 000 ozljeda uzrokovanih rotirajućim dijelovima uređaja za kosidbu trave. Cilj ovoga rada je istražiti mogućnost konstrukcije automatizirane električne kosilice koja bi uz ograničenu daljinsku pomoć operatera bila u stanju samostalno pokositi relativno pravilne površine bez prepreka (npr. nogometno igralište).

U radu je potrebno:

1. Projektirati mehaničku konstrukciju automatske električne kosilice za travu s rotirajućim sječivom, baterijama i zaštitom od izlijetanja trave.
2. Definirati energetske sustav uređaja prema zadanoj brzini kosidbe i vremenu autonomije rada od jednog sata.
3. Osmisliti način vođenja kosilice prema vanjskim oznakama i unutarnjim senzorima.
4. Procijeniti cijenu rješenja i potrebna dodatna istraživanja da bi uređaj postao operativan u komercijalnom smislu.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
4. listopada 2012.

Rok predaje rada:  
6. prosinca 2012.

Predviđeni datumi obrane:  
12. – 14. prosinca 2012.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Mladen Crneković

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Mladen Andrassy

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK.....	VII
1. UVOD.....	1
2. OPIS POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA.....	7
2.1. Komercijalne robotizirane kosilice .....	7
2.1.1. Husqvarna Automower® Solar Hybrid.....	9
2.1.2. John Deere Tango E5 .....	10
2.1.3. Ambrogio L400.....	11
2.2. Daljinski upravljani komunalni uređaji.....	13
2.2.1. Irus quatrak .....	13
2.2.2. RoboFlail.....	14
2.2.3. Dvořák Spider .....	15
3. AUTONOMIJA ROBOTA.....	17
3.1. Navigacija i lokalizacija.....	19
3.1.1. Relativno lociranje korištenjem odometrijskih senzora.....	19
3.1.2. Lociranje pomoću vanjskih referenci.....	20
4. RAZVOJ PROIZVODA.....	22
4.1. Potrebe kupaca .....	22
4.2. Definicija proizvoda.....	24
5. KONSTRUIRANJE.....	29
5.1. Propulzijski sustav .....	29
5.2. Konstrukcija alata .....	31
5.3. Izbor motora .....	34
5.3.1. Proračun potrebnih karakteristika trakcijskih motora.....	34
5.3.2. Izbor motora alata .....	38
5.3.3. Izvor električne energije.....	40
5.4. Izbor prijenosnika .....	45
5.4.1. Prijenosnici pogona.....	45
5.4.2. Vratilo alata.....	49
5.5. Šasija .....	51
5.6. Sklop automatske robotizirane kosilice .....	52
6. UPRAVLJAČKI SUSTAV .....	55
6.1. Mikrokontroler .....	55
6.2. Pulsno širinska modulacija.....	56
6.3. Radio kontrola.....	57
6.4. Sustavi lociranja .....	60
6.5. Senzori .....	67

---

6.6. Strujni krug .....	69
7. ANALIZA TROŠKOVA.....	70
8. SMJERNICE ZA DALJNI RAZVOJ .....	72
9. ZAKLJUČAK.....	74
LITERATURA.....	75

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Robot s kraja 19-og stoljeća i popularni roboti iz SF filma[5][6] .....	3
Slika 2.	Broj prodanih jedinica uslužnih robota za profesionalnu uporabu.....	4
Slika 3.	Trend rasta broja prodanih kućanskih uslužnih robota i robota za razonodu[4] .....	4
Slika 4.	Komičan prikaz uslužnog robota za košnju travnaka.....	6
Slika 5.	Prikaz načina košnje komercijalnih robotiziranih kosilica.....	8
Slika 6.	Izgled noževa i Husqvarna Automower® Solar Hybrid uređaj .....	10
Slika 7.	Izgled noževa i vanjski dizajn uređaja John Deere Tango E5.....	10
Slika 8.	Ambrogio L400 .....	12
Slika 9.	Irus Quatrak [9] .....	14
Slika 10.	RoboFlail one [10].....	14
Slika 11.	Spider MINI .....	15
Slika 12.	Uzorak nasumičnog kretanja[13] .....	18
Slika 13.	Ilustracija akumulacije grešaka kod odometrijskih mjerenja[11] .....	20
Slika 14.	Pregled razmjera navigacije za različite sustave lokalizacije.....	21
Slika 15.	Funkcijska dekompozicija uređaja .....	26
Slika 16.	Diferencijalna struktura platforme .....	29
Slika 17.	Odabrani kotači i konstrukcija glavine kotača .....	30
Slika 18.	Izgled cilindrične kosilice iz 1888-e godine i današnja izvedba [16][17].....	32
Slika 19.	Moderna konstrukcija kućišta sječiva i cirkulacije otpadaka trave[18] .....	33
Slika 20.	Način podešavanja visine košnje.....	33
Slika 21.	Izračun potrebne traksijske sile .....	34
Slika 22.	Odabrana kombinacija elektromotora i prijenosnika .....	37
Slika 23.	RoboteQ LDC2250C .....	38
Slika 24.	Ovisnost snage i momenta pogonskih motora o radnom zahvatu .....	38
Slika 25.	Elektromotor EM0709.....	39
Slika 26.	Kućište Alltrax Axe serije kontrolera istosmjernih elektromotora .....	40
Slika 27.	a) hermetička olovna baterija FIAMM 12v 12Ah.....	41
Slika 28.	Dijagram stvarnog kapaciteta za suhe olovne baterije kapaciteta 42 Ah .....	42
Slika 29.	Dijagram stvarnog kapaciteta za LiFePO4 članke tvrtke Winston battery[24].....	43
Slika 30.	Stezni elementi članaka i dimenzije pojedinog članka [24] .....	45
Slika 31.	Shematski prikaz rasporeda lančanika .....	46
Slika 32.	Presjek sekundarnog lančanika .....	46
Slika 33.	Konstrukcija lančanog prijenosa .....	47
Slika 34.	Različite mogućnosti smještaja pogonskih elektromotora .....	47
Slika 35.	Opterećenje zavora vratila .....	50
Slika 36.	Sklop vratila alata .....	51
Slika 37.	Izgled šasijske automatske robotizirane kosilice .....	52
Slika 38.	Razmještaj komponenti u gotovom sklopu .....	53
Slika 39.	Osnovne dimenzije i prostorni prikaz automatske robotizirane kosilice .....	54
Slika 40.	Objašnjenje pulsno širinske modulacije .....	56
Slika 41.	Oblik signala prijemnika i pretvorba u vrijednost PWM-signal.....	58
Slika 42.	Modularna robotska platforma .....	59
Slika 43.	Objašnjenje uz postupak trilateracije .....	62
Slika 44.	Ardupilot platforma [15] .....	65
Slika 45.	Različite izvedbe ultrazvučnih senzora .....	67

---

Slika 46.   Blokovski prikaz strujnog kruga uređaja.....	69
--	----

**POPIS TABLICA**

Tablica 1.	Glavne potrebe korisnika.....	23
Tablica 2.	Definicija ciljeva proizvoda .....	25
Tablica 3.	Morfološka matrica .....	27
Tablica 4.	Potrebne karakteristike motora.....	35
Tablica 5.	Usporedba baterijskih konfiguracija .....	43
Tablica 6.	Specifikacije mikrokontrolera iz asortimana tvrtke Atmel .....	55
Tablica 7.	Analiza troškova izrade stroja ARK-012 .....	70

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$a$	mm	stvarni razmak osi lančanika
$a'$	mm	približna vrijednost razmaka osi lančanika
$\alpha$	°	nagib maksimalnog uspona
$a$	m/s <sup>2</sup>	ubrzanje stroja
$C_{pot}$	Ah	predviđena potrošnja
$C_p$	Ah	korigirani kapacitet baterija
$DoD$	%	dubina pražnjenja
$F$	N	potrebna traksijska sila
$f$	-	proračunski faktor prema
$g$	m/s <sup>2</sup>	ubrzanje Zemljine sile teže
$I$	kgm <sup>2</sup>	moment tromosti
$i$	-	prijenosni omjer
$k$	-	faktor snage
$m$	kg	masa
$n$	min <sup>-1</sup>	broj okretaja izlaznog vratila
$\eta$	-	iskoristivost prijenosnika
$p$	mm	korak lanca
$P$	W	snaga
$P_d$	kW	reducirana udarna snaga
$R_0$	N	radni otpor alata
$r$	m	polumjer kotača
$S$	-	faktor sigurnosti.
$T$	Nm	okretni moment
$\mu$	-	faktor trenja
$\tau_{dop}$	N/mm <sup>2</sup>	dopušteno naprezanje
$\tau_{  }$	N/mm <sup>2</sup>	smično opterećenje zavara - [N/mm <sup>2</sup> ],
$X$	-	broj članaka lanca
$\omega$	rad/s	brzina rotacije
$\omega_k$	rad/s	željena brzina okretaja kotača
$\omega_{izl}$	rad/s	brzina okretaja na izlaznom vratilu
$Z$	-	broj zubaca lančanika

## SAŽETAK

U ovom radu opisan je postupak projektiranja automatske robotske kosilice. Uključene su sve faze razvoja proizvoda; od detaljne analize postojećeg stanja na tržištu do izrade morfološke matrice. Uređaj je sa svim sklopovima i podsklopovima u konstruiran u CAD programskom paketu. Razrađen je i energetska sustav uređaja koji za rad koristi isključivo električnu energiju, te opcije upravljačkih sustava. Na kraju je prikazana detaljna analiza troškova te smjernice za daljnji razvoj proizvoda.

**Ključne riječi:** modularna robotska platforma, robotizirana kosilica, mobilni robot

## ABSTRACT

This thesis describes the process of designing an automatic robotized grass cutter. All phases of product development have been included in this thesis, from a detailed analysis of existing products to forming a morphological matrix and functional decomposition of the product.

The whole product has been designed by using conventional CAD tools. Electrical system has been established, keeping in mind to use electrical energy only. A couple of options for control system implementation have been given and a detailed cost analysis has been carried out. Few guidelines for further development have been presented at the end.

**Keywords:** modular robotic platform, robotic mower, field robot



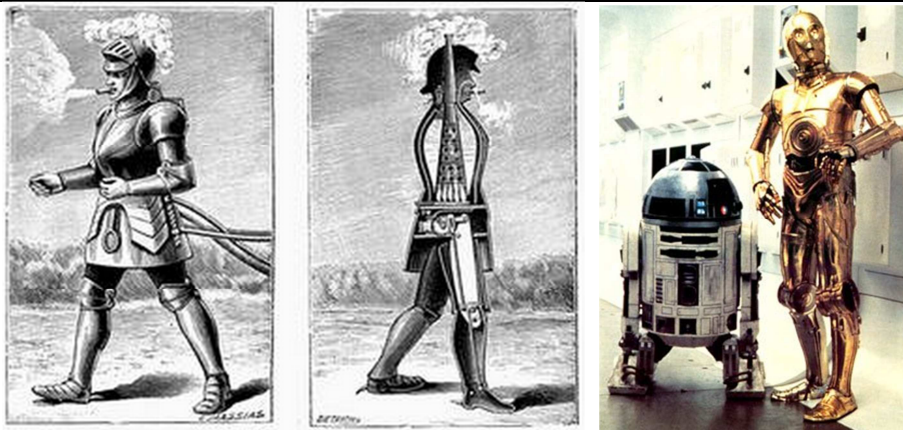
## 1. UVOD

Na pragu smo nove revolucije u robotici. Radi se o razvoju grane industrije bazirane na konstantnom unepređenju postojećih tehnologija, kao i razvoju novih. Manji broj proizvođača prodaje visoko specijalizirane strojeve za industrijsku uporabu, a brzo raste i broj novoosnovanih tvrtki koje se bave proizvodnjom inovativnih uređaja za kućnu uporabu. Zbog takve fragmentacije tržišta, uveden je tek manji broj standardnih elemenata i platformi. Projekti su dakle izuzetno kompleksni, napredak je usporen i rijetki uređaji nalaze praktičnu uporabu. Ovdje se može povući paralela sa računalnom revolucijom, prije koje se računalna industrija nalazila u sličnoj situaciji. Takvo stanje se zadržalo sve dok skupina entuzijasta nije osnovala tvrtku koja je promijenila pristup, uvela standardne uređaje i programske jezike koji su se mogli koristiti na više različitih platformi. Takav pristup omogućio im je znatno brži razvoj novih proizvoda i održavanje koraka sa brzo napredujućom tehnologijom. Slične promjene mogu se primijetiti i u robotici danas. Tako su dostupne mnoge upravljačke jedinice i mnogi software-i sa licencom otvorenog tipa koja omogućava korisniku modificiranje proizvoda po potrebi. Proizvode se i razni novi uređaji koje entuzijasti, kako amateri tako i razvojni inženjeri modificiraju kako bi im povećali funkcionalnost i van njihove zamišljene uporabe. Pokazalo se da se na taj način može uštedjeti značajna količina vremena koje se inače troši na projektiranje osnovnih dijelova robota, tako da se istraživači mogu koncentrirati na sam cilj istraživanja. Istaknut primjer takvog pristupa može se primijetiti na redovitim natjecajima američke agencije za razvoj novih tehnologija namijenjenih uporabu u obrambene svrhe(DARPA,eng. *Defense Advanced Research Projects Agency*). U ovim otvorenim natjecajima potrebno je izraditi autonomne uređaje pred koje se predstavljaju razni izazovi. Ovi natječaji dobivaju veliku medijsku pažnju, kako zbog zapanjujućih inovacija, tako i zbog velike novčane nagrade predodređene za timove čiji uređaji bi uspješno izvršili zadane zadatke. Pokazalo se da je ekonomska isplativost sudjelovanja u ovim natjecajima samo prividna, jer je u dosadašnjim natjecajima je većina timova potrošila znatno više iznose od nagrade, s time da je samo mali broj timova uopće ispunio uvjete za njeno dobivanje. Gotovo svi prijavljeni projekti koristili su gotove mehaničke i računalne komponente, koji su modificirani i podržani sa sustavima razvijenim od strane natjecatelja.

Pristup jeftinoj računalnoj opremi omogućio je znanstvenicima da riješe probleme koji su nekada bili prezahtjevni što se tiče računalnih resursa. Usprkos tome, potrebno je pronaći nove inovativne načine kako bi se razvili roboti koji bi izvršili praktične zadatke. Na primjer; danas su programi za prepoznavanje glasa razvijeni do visokog nivoa, ali sustavi za prepoznavanja značenja riječi u kontekstu su tek u povojima. Kako će se računalni kapaciteti i dalje razvijati, možemo očekivati da će robotski sustavi u budućnosti izvršavati i značajno kompleksnije zadaće od prepoznavanja glasovnih naredbi.

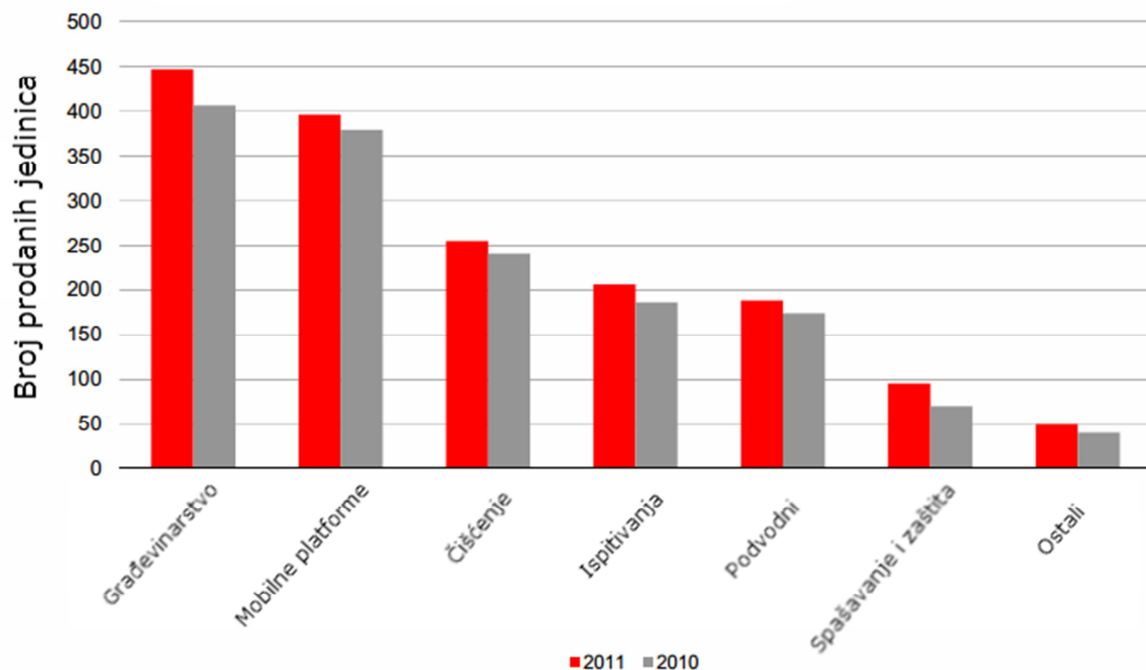
Kao i u slučaju računalne revolucije koja je zamah uzela izbacivanjem osobnih računala, teško je predvidjeti koji proizvod će biti pokretač „*robotske*“ revolucije. Očigledno je da je uporaba robota u industriji već danas nezamjenjiva, ali puno više se očekuje od razvoja robota za kućnu ili javnu uporabu. Razlog tome je direktnija veza sa puno većim brojem ljudi, tako da se od razvojnih inženjera očekuje pridavanje veće pažnje u dizajniranju proizvoda, te dobivanje novih ideja i pogleda na proizvode. Također je za očekivati da će sve više istraživača dobiti zanimanje za ove aspekte robotike, te da će se u bližoj budućnosti veći broj mladih ljudi odlučiti za školovanje i daljnje profesionalno istraživanje u tom smjeru.

Izvjeshni smjerovi razvoja mogu se očitati iz proizvoda koji su danas u uporabi, te onih koji se intenzivno razvijaju. Primjerice, postoji velik broj robota razvijenih isključivo za razonodu i slobodno vrijeme. Ljudi su oduvijek fascinirani strojevima koji samostalno obavljaju razne zadaće, pogotovo ako oni imaju ljudski oblik. Ova fascinacija je pojačana sve većom pojavom ovakvih strojeva u literaturi, pogotovo tijekom industrijske revolucije, te filmovima znanstvene fantastike u novije vrijeme. Iskorištavajući ovu fascinaciju na tržištu već dugo postoje jednostavni roboti kojima je moguće neposredno upravljati ili im je moguće uprogramirati niz akcija. Današnje izvedbe ovakvih robota su puno više od igračaka, te posjeduju osnovnu umjetnu inteligenciju, mogu obavljati i komplicirane zadaće te ostvariti interakciju sa ljudima na prilično visokoj razini.

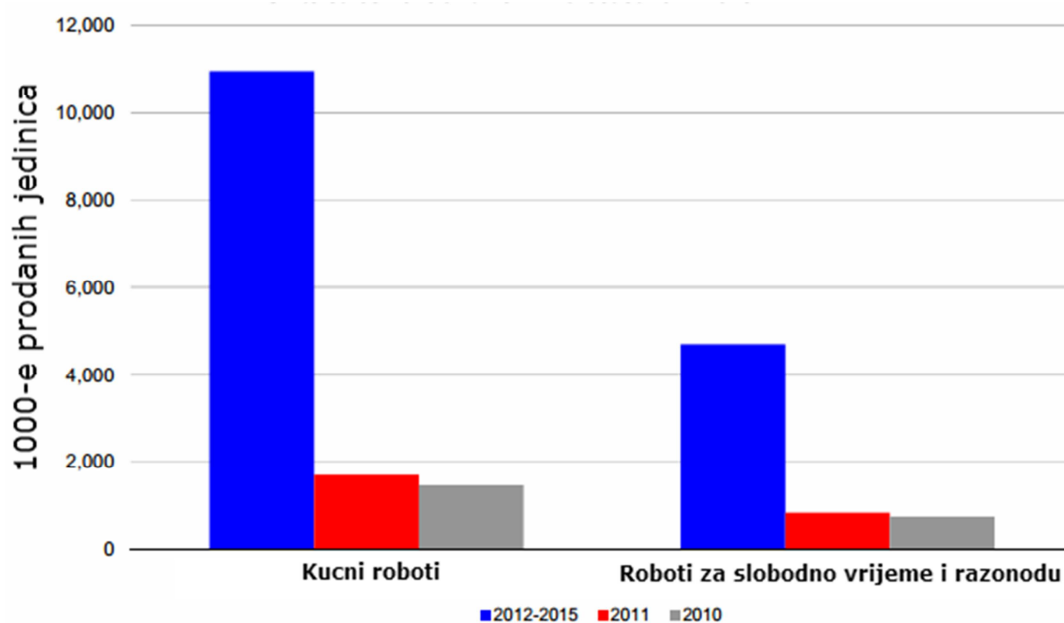


**Slika 1. Robot s kraja 19-og stoljeća i popularni roboti iz SF filma[5][6]**

Osim ovakvih tipova robota, koji u osnovi nemaju praktičnu uporabu, sve je raširenija i uporaba uslužnih robota koji su namijenjeni da olakšaju određene poslove, ili da čak potpuno isključe potrebu za ljudskom intervencijom iz svakodnevnih zadatak. U ovom sektoru može se još izvršiti podjela na kućne uslužne robote i robote za profesionalnu uporabu. U profesionalnoj uporabi robote veće danas srećemo primjerice kod poslova komunalnog održavanja, razminiravanja, službi za spašavanje i zaštitarskih službi. Sve češća je i uporaba u medicini, kao nezamjenjiv instrument u provođenju kirurških zahvata, ali i kao pomoć kod njege bolesnika. Neke od ovih uporaba vrijede i za kućne uslužne robote, ali u ovom segmentu su najprodavaniji roboti koji zamjenjuju ljude u svakodnevnim poslovima poput usisavanja, pometanja ili pranja prozora. Većina ljudi ovakve poslove smatra zamarajućima, i smatra da im ove nužne zadaće oduzimaju dragocjeno vrijeme koje bi u današnjem užurbanom tempu radije iskoristili za odmor, druženje s obitelji ili prijateljima, ili izvršavanje drugih obaveza. Zbog toga su kupci su objeručke prigrlili ovakve proizvode i spremni su platiti visoku cijenu koja se nameće zbog nerazvijenog tržišta i relativno niske razine razvoja proizvoda koja je između ostalog uzrokovana i problemima već opisanim u ovom poglavlju. U sljedećih par slika prikazat će se statistički podaci objavljeni od strane odjela statistike međunarodne federacije robotike(IFR, *eng. international federation of robotics*). Ovi podaci uključuju i predviđena kretanja trendova u narednih nekoliko godina.



Slika 2. Broj prodanih jedinica uslužnih robota za profesionalnu uporabu



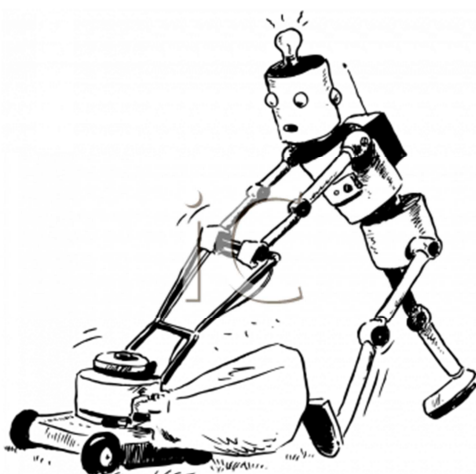
Slika 3. Trend rasta broja prodanih kućanskih uslužnih robota i robota za razonodu[4]

U izvješću iste federacije iz 2005.-e godine mogu se pronaći podaci o najprodavanijim proizvodima iz segmenta kućnih uslužnih robota. Sasvim očekivano, na prvom mjestu su robotizirani usisivači. Oni su ustvari prvi proizvodi ovoga tipa koji su našli svoje tržište, tako da su se već ustalili, i dosegli prilično visok stupanj razvoja. Iako su na istim platformama

razvijeni i drugi proizvodi za čišćenje po kući, oni su istisnuti od strane robotiziranih kosilica. Iako na prvi pogled ovaj podatak zvuči nelogično, detaljnijom razradom mogu se predvidjeti mogući razlozi visoke potražnje za robotiziranim kosilicama. U većini kultura se nastoji održavati urednost okućnice, u kojima istaknuto mjesto redovito ima prostran travnjak. Tako je postalo socijalno neprihvatljivo imati neuredan travnjak, štoviše, smatra se da je obrastao travnjak znak da nešto nije u redu u kućanstvu. Tako je to na primjer znak psihičkih ili fizičkih oboljenja stanara ili svađa unutar kućanstva. Uz to, i provalnici ga mogu interpretirati kao znak odsutnosti stanara i potencijalnu laganu provalu. Osim toga, košnja trave je dugotrajan i jedan od neugodnijih svakodnevnih poslova oko kuće. Prihvaćeni uređaj za košnju travnjaka prosječne veličine se upravlja guranjem i koristi motor s unutarnjim izgaranjem za pogon alata. U skupljim uređajima sa istog agregata se oduzima moment koji se prenosi na kotače i time potpomaže guranje uređaja. Ovi uređaji proizvode visoke razine buke te emitiraju značajne količine ispušnih plinova. Prema nekim istraživanjima, prosječna motorizirana kosilica tijekom jednog sata rada u atmosferu izbaci štetnih plinova u količini koju osobni automobil izbaci tijekom 1000 kilometara putovanja[7]. Razlog tome je dugogodišnje nametanje emisijskih normi automobilske industriji, što je rezultiralo velikim brojem sustava za smanjenje emisije u današnjim autima, kao i velikim ulaganjima u povećanju efikasnosti automobilskih motora. Nemoguće je objasniti razlog zanemarivanja utjecaja malih motora na ukupnu emisiju, ali većina današnjih kosilica koristi primitivne dvotaktne benzinske motore sa jednostavnim rasplinjačima i osnovnim ispušnim sustavom. Zbog toga su ovi motori imaju malu efikasnost, i često rade u podešenju presiromašne smjese goriva i zraka (veći udio goriva). O opasnostima rada sa ovakvim motornim kosilicama dovoljno govore statistički podaci. U ambulantama Sjedinjenih američkih država samo tijekom 2004.-e godine tretirano je 80 000 ozljeda uzrokovanih nepravilnim rukovanjem motoriziranim kosilicama. U razdoblju od 1996.-e do 2004.-e godine čak 12 000 ljudi je hospitalizirano iz istih razloga[8], što govori o ozbiljnosti ovakvih nezgoda. Većina ovih ozljeda mogla se izbjeći pravilnim rukovanjem i redovitim održavanjem stroja te korištenjem zaštitnih sredstava propisanih u priručnicima kosilica.

Iz navedenih razloga, sasvim je razumljivo zašto bi pojedinac razvio averziju prema rukovanju kosilicama trave i poželio posjedovati robotiziranu kosilicu koja će sama pokositi travnjak. Po mogućnosti u bez potrebe za nadgledanjem takve kosilice tokom rada. Razni proizvođači su prepoznali ovakve potrebe potrošača i razvili malene robotizirane kosilice koje

koriste znatno manja sječiva i uz to su pogonjene isključivo elektromotorima, što ih čini znatno tišima i sigurnijima od motornih kosilica. Ovi uređaji su opremljeni upravljačkim jedinicama preko kojih korisnik može definirati shemu puštanja uređaja u rad na tjednom rasporedu, nakon čega teoretski nije potrebna nikakva daljnja interakcija. Dodatne prednosti korištenja ovakvih kosilica su i čistija savjest zbog izostanka štetnih emisija, te prestiž koji ovakva kosilica donosi. Ipak se svako kućanstvo ne odlučuje za kupovinu ovakvog uređaja kako zbog relativno visoke cijene tako i zbog određenih ograničenja korištenja. Zbog toga će sama pojava ovakvog uređaja na travnjaku ispred kuće privući pažnju i potaknuti razgovore u susjedstvu.



**Slika 4. Komičan prikaz uslužnog robota za košnju travnaka**

## 2. OPIS POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

Na tržištu se već nude uređaji sličnih namjena i specifikacija, ali uz značajne razlike u stupnju autonomije kao i ciljanom tržištu. Tako će se u ovom poglavlju opisati komercijalne robotizirane kosilice namijenjene za kućnu uporabu, puno robusniji daljinski upravljani strojevi za uporabu u komunalnom održavanju, te napredni automatizirani sustavi namijenjeni za održavanje travnatih sportskih terena.

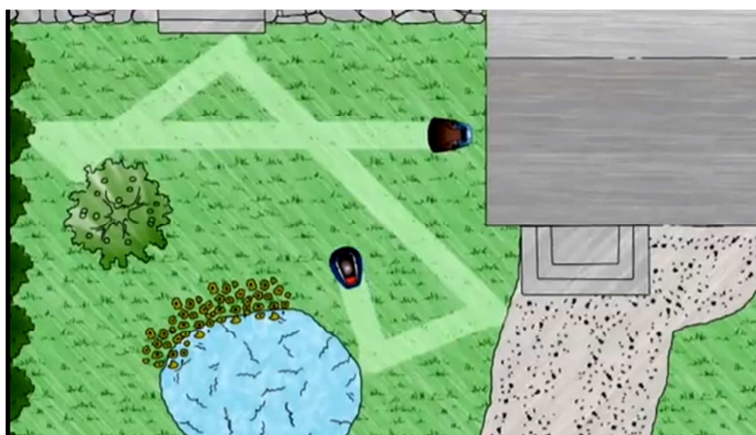
### 2.1. Komercijalne robotizirane kosilice

Današnje komercijalne robotizirane kosilice za kućnu namjenu su autonomni roboti namijenjeni za redovitu košnju trave unutar definiranog radnog prostora. Ovi uređaji zahtijevaju da korisnik ukopa električki vodljivu žicu oko travnjaka kako bi se definirao radni prostor robota. U nekim slučajevima ista vodljiva žica koristi se i za lociranje bazne stanice za punjenje baterija i zaštitu uređaja od vanjskih elemenata tijekom razdoblja u kojima nije u uporabi. Osim potrebe za definiranjem radnog prostora i zabranjenih zona, prije prve košnje jednim od ovih uređaja potrebno je prethodno travu pokositi na visinu koja odgovara radnom rasponu određenog uređaja. Tipične maksimalne visine košnje su oko 10 cm, ali kako se ove kosilice automatiziranu stavljaju u pogon po dnevnom rasporedu, trava tijekom njihove redovite uporabe neće nikada izrasti do visine koja bi mogla predstavljati zbog manje snage motora koji pokreću noževe. Uz takvu redovitu košnju otpaci trave su jako sitni i vizualno neprimjetni, zbog čega nije potrebno njihovo sakupljanje štoviše, ovakvi ostatci predstavljaju odlično biološko gnojivo.

Ovi uređaji travnjake kose u nasumičnim uzorcima, krećući se pravocrtno do žice koja ograničava travnjak ili prepreke, nakon čega se zakreće za nasumičan kut oko vlastite osi okretanja i ponovno kreće pravocrtno do sljedećeg kontakta sa granicom ili preprekom. Iako postoji mala mogućnost da na ovaj način kosilica ne prođe cijeli travnjak, u većini slučajeva će cijela površina biti pokrivena. Ipak, ovakav sustav će neizbježno dovesti do toga da će neke površine biti više puta obrađene u odnosu na druge, što u ovom slučaju znači uzaludan rad alata zbog čega je i ukupna iskoristivost rada manja u odnosu na sistematsku košnju definiranu pravilnim geometrijskim prolazima preko travnjaka u kojoj uređaj ne bi dva puta prelazio preko već obrađenih površina. Prosječna vremena košnje ovih uređaja tako su

između 5 i 10 sati rada, treba dakle uzeti u obzir da je većina uređaja opremljena sa baterijama čiji kapaciteti im dopuštaju sat vremena rada nakon čega je potrebno punjenje približno istog trajanja. Ukupno vrijeme košnje tako se može odužiti do preko 20 sati zbog čega je potrebno da su ovi uređaji u pogonu gotovo cijelo vrijeme.

Zbog malih ukupnih dimenzija ovih uređaja, malih promjera kotača i slabih traksijskih motora ovi uređaji zahtijevaju i precizniju pripremu tla travnjaka jer i manje neravnine mogu onesposobiti stroj. Snaga traksijskih motora ovih uređaja dovoljna je da savladaju nagibe koji se mogu naći na prosječnim uređenim travnjacima. Za detekciju prepreka većina uređaja koristi samo mjerenje struje koja protiče kroz traksijske motore. Dakle, zbog potrebe za ostvarivanjem većeg momenta kako bi se teoretski pomaknula prepreka nakon kontakta sa njom, motori će potražiti veću struju od one koju u normalnim uvjetima rada potražuju od izvora električne energije. To povećanje detektiraju senzori i nakon toga pokreće se rutina za odmicanje od prepreke i nasumično zakretanje. Zbog ovakvog; indirektnog, ali pouzdanog sustava detekcije prepreka ovi strojevi imaju male mase i kreću se malim brzinama.



**Slika 5. Prikaz načina košnje komercijalnih robotiziranih kosilica**

Iako se proizvode i uređaji koji su namjeni za obradu do 20 000 m<sup>2</sup>, najčešće izvedbe namijenjene su za manje travnjake do 3 000 m<sup>2</sup>. Pri tome treba imati na umu da se povećanjem radnog kapaciteta stroja znatno povećava i cijena uređaja. Robotizirane kosilice su sve sofisticiraniji uređaji, mnogi imaju funkciju vraćanja do bazne stanice nakon obavljenog zadatka, sustave protiv krađe i primjerice sustav za detekciju kiše kako bi se uređaj na vrijeme mogao skloniti i tako ukloniti opasnost od oštećenja električnih dijelova zbog vlage. Svi ovi sustavi doprinijeli su tome da ovi uređaji imaju visok stupanj autonomije

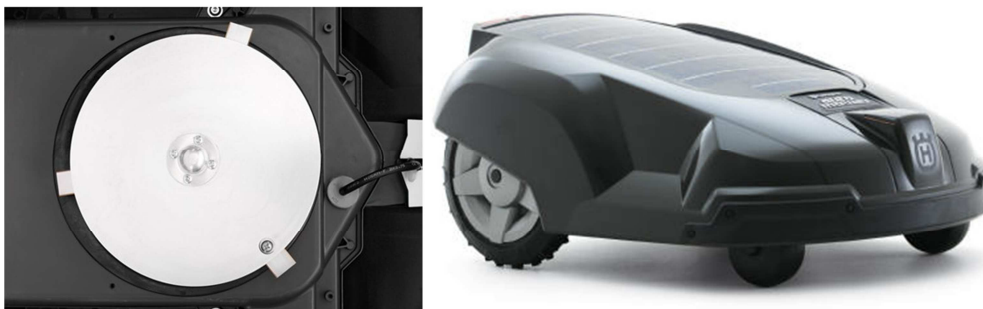


za zadani zadatak, tako da je potreba za ljudskom interakcijom gotovo u potpunosti isključena. Svi današnji uređaji u sigurnosnoj funkciju imaju znatno manji radni zahvat noževa od dimenzija uređaja. Kako su ti noževi smješteni bliže središta uređaja smanjenja je mogućnost kontakta sa noževima u slučaju neopreznog rukovanja strojem. Uz to uređaji imaju sustave koji isključuju rad motora noževa u slučaju kada netko pokuša dignuti uređaj.

Zbog kompleksnosti proizvoda te u nastojanju da se cijena održi u prihvatljivom rangu, ovi proizvodi predstavljaju kompromis u vidu kvalitete izrade i trajnosti proizvoda. Iako brojni proizvođači nude robotizirane kosilice, za sve vrijede gore navedene karakteristike uz manja odstupanja u vidu dodatnih funkcija kod skupljih modela. U daljnjem tijeku poglavlja predstaviti će se nekoliko ovakvih uređaja sa naprednijim funkcijama.

### **2.1.1. Husqvarna Automower® Solar Hybrid**

Švedska tvrtka Husqvarna AB koja se inače bavi proizvodnjom motoriziranih vrtnih alata u ponudi trenutno ima tri robotizirane kosilice. Sve kosilice iz ponude imaju radni zahvat od 23cm i mogućnost podešavanja visine košnje između 2 i 6 cm. Samo sječivo sastoji se od tri izmjenjiva noža nalik žiletama raspoređena na aluminijskom disku. Osim manjih razlika u dizajnu i obliku kotača, najznačajnija razlika među modelima je u kapacitetu NiMh baterija napona 18 volti kojima su opremljeni i shodno tome, maksimalnim površinama travnjaka koje mogu obraditi. Tako postoje uređaji predviđeni za 1800 m<sup>2</sup>, 2200 m<sup>2</sup> i 3000 m<sup>2</sup> uz predviđena odstupanja od 20% navedene površine. Kapaciteti baterija su 2,2 Ah, i u modelu namijenjenom za 3000 m<sup>2</sup> dvije takve baterije spojene su paralelno dajući tako ukupni kapacitet od 79,2 Wh. Uz prosječno vrijeme punjenja baterija od 45 minuta uređaj predviđen za 3000 m<sup>2</sup> može neprekidno raditi 90 minuta, a uređaj predviđen za 1800 m<sup>2</sup> 45 minuta. Snage motora koji pokreću noževe kreću se od 30 do 40 W. Buka koju ovaj uređaj proizvodi ne prelazi 64 dB(A). Težine su im oko 10 kilograma. Točne dimenzije kosilice navedene u katalogu su: 710x550x300 mm. Svi modeli dolaze sa baznom stanicom pomoću koje se i pune baterije, a maksimalan nagib koji mogu savladati je od 35%. Svaki uređaj je opremljen sa tipkovnicom i ekranom preko kojih je moguće namještati postavke i određivati tjedni raspored košnje.



**Slika 6. Izgled noževa i Husqvarna Automower® Solar Hybrid uređaj**

Vrh ponude tvrtke Husqvarna predstavlja uređaj namjenjen za 2200 m<sup>2</sup> koji je opremljen solarnim panelom, te ima mogućnost slanja tekstualne poruke na prethodno definiran broj mobilnog telefona u slučaju da mu je redoviti ciklus košnje prekinut iz nekog razloga, primjerice zbog upada u neravninu iz koje se robot ne može samostalno izvući.

### **2.1.2. John Deere Tango E5**

U tržište komercijalnih robotiziranih kosilica američka tvrtka sa dugom tradicijom John Deere uključila se modelom Tango E5. Ova američka tvrtka sa tradicijom dugom preko 150 godina danas predstavlja vodećeg proizvođača poljoprivredne opreme u svijetu. Uz takvo tržište usko je vezano i tržište motoriziranih vrtnih alata, pa tako proizvode i strojeve za održavanje travnjaka.



**Slika 7. Izgled noževa i vanjski dizajn uređaja John Deere Tango E5**

Ovaj uređaj odlikuje znatno robusnija izvedba u odnosu na konkurenciju. Primjer je dvostruka stjenka polimernog kućišta, te metalni umetci na važnim spojevima. Ove mjere će definitivno doprinjeti trajnosti ovog uređaja i osiguravanju pouzdanog rada tijekom njegova životna

ciklusa. Osim toga, koriste trajne čelične noževe zvjezdastog oblika za razliku od uređaja koji koriste izmjenjive noževe nalik žiletama koji se u prosječnim radnim ciklusima moraju mijenjati svakih 90-dana. Uz to, ovi noževi su tako oblikovani da se smanji njihovo trošenje i opterećenje na električni motor koji ih pokreće. Zahvat noževa je 30 cm, a mogu se podesiti za visine košnje između 19 i 102 mm. Ovi noževi pokretani su konvencionalnim električnim motorom sa četkicama snage 60W pri 2600 okretaja u minuti. Ovaj uređaj koristi naprednije baterije koje koriste Li-ion tehnologiju. Ove baterije imaju veći specifični kapacitet i manji unutarnji otpor. To znači da za isti kapacitet teže manje, te mogu isporučiti više struje i brže se napuniti od ostalih tehnologija koje se danas koriste. Tako je ovom uređaju uz bateriju napona 36V i kapaciteta 2,6Ah (96Wh) omogućeno 60 minuta rada uz 90 minuta punjenja. Ovaj podatak je usporediv sa konkurentnim proizvodima, ali treba uzeti u obzir znatno veću snagu elektromotora za košnju i veći radni zahvat noževa. Ovaj uređaj namjenjen je za površine travnjaka do 1800 m<sup>2</sup>, a posjeduje i funkciju spiralnog radnog kretanja od sredine travnjak. Ovakav način košnje je puno efikasniji od nasumične košnje za travnjake pravilnih oblika, pogotovo u slučajevima kada imaju širinu približno jednaku duljini. Trakcijski elektromotori imaju snage od 46W i omogućuju svladavanje uspona od 35% što odgovara približno 20°. Vanjske dimenzije ovog uređaja su podjednake konkurentskim, ali im je težina pri 15kg nešto veća od konkurencije zahvaljujući većem broju metalnih dijelova. Najveća buka koju ovaj uređaj proizvodi ne prelazi 69dB(A). Vanjski dizajn ovog uređaja podsjeća na popularne traktore ovog proizvođača, a posebno se ističe prepoznatljiva kombinacija zelene i žute boje. Ovaj uređaj se isporučuje sa baznom stanicom, sučeljem sa ekranom i tipkovnicom, te zaštitom protiv krađe i ozljeda.

### **2.1.3. Ambrogio L400**

Ambrogio je naziv linije robotiziranih kosilica travnjaka koje je razvila tvrtka Zucchetti Centro Sistemi iz Italije. Ova tvrtka bavi se automatikom i robotikom i dio je Zucchetti grupacije kompanija. Unutar same grupacije tvrtka se prvo bavila razvojem software-a, a nakon osnivanja odjela robotike počinju razvijati uslužne robote za kućnu uporabu. Prvi takav robot koji su izbacili na tržište 2000-e godine služio je za košnju travnjaka. U međuvremenu se bave istraživanjem i razvojem i za druga tržišta, tako da su izbacili i robota za čišćenje tvrdih podova unutar kuće te mobilnu robotsku platformu. Ipak, tvrtka najviše truda ulaže u razvijanje robotiziranih kosilica, tako da se mogu pohvaliti najopsežnijim izborom, te naprednim tehnologijama poput uređaja za prepoznavanje travnjaka koji su sami razvili.

Njihov spektar proizvoda pokriva cijelo tržište, od jeftinih i jednostavnih robota za male travnjake, do dopadljivo dizajniranih uređaja koji mogu pokriti područje od 6 000 m<sup>2</sup> te su napravljeni od naprednih materijala poput kompozita iz ugljičnih vlakana.



**Slika 8. Ambrogio L400**

Ipak, proizvod koji se najviše ističe iz dosadašnjeg standarda je Ambrogio L400. Ovaj uređaj može pokriti u usporedbi sa ostalim proizvodima zapanjujućih 20 000 m<sup>2</sup>. Zamišljen je za košnju parkova i sportskih teren. Za razliku od ostalih modela ovaj uređaj posjeduje čak tri sječiva zahvata 29 cm, koja su raspoređena tako da zajedno pokrivaju čak 86 cm. Svako sječivo ima vlastiti elektromotor, a dva takva sklopa montirana su na ovješena ramena, tako da se bolje prilagođavaju neravninama na terenu. Svi elektromotori na ovome uređaju su napredne konstrukcije bez četkica. Ovi motori koriste beskontaktnu senzore za određivanje kutne pozicije rotora, u skladu s kojom preko poluvodičkih elemenata mijenjaju polaritet napona na zavojnicama elektromagneta. Sami elektromagneti su namontirani na stator, dok su na rotoru snažni permanentni magneti. Kod ovakvih konstrukcija su jedini potrošni elementi ležajevi te nema gubitaka zbog iskrenja ili trenja koje četkice predstavljaju u konvencionalnim konstrukcijama. Moment na elektromotorima sječiva je 0,35 Nm pri brzini od 3000 okretaja u minuti. Brzina gibanja robota ne prelazi 30 metara u minuti (1,6 km/h), a vrijeme potrebno da obradi 10 000 m<sup>2</sup> je 7 sati rada uz odstupanja od 20%. Mogućnost košnje 20 000 m<sup>2</sup> ostvaruje se jedino nadoplatom za dodatne opcije GPS i GPRS sustava, preko kojih se zadaju granice travnjaka. Još jedna opcija je Bluetooth konzola koja omogućuje direktno upravljanje i daljinsko programiranje uređaja. Za akumuliranje električne energije uređaj

koristi tri litij ionske baterije ukupnog napona 24 volti i kapaciteta 26Ah. Uređaj se isporučuje sa baznom stanicom u koju je integriran punjač kojemu je potrebno 2 sata da napuni baterije, što je i približno isto vremenu autonomije nakon punjenja. Značajna ušteda električne energije ostvarena je korištenjem senzora trave patentiranog od strane Zucchetti grupacije. Uređaj dakle uključuje elektromotore alata jedino ako senzori detektiraju da trava na trenutnoj poziciji robota nije pokošena. Ukupna težina cijelog uređaja je 44kg.

## **2.2. Daljinski upravljani komunalni uređaji**

Razni proizvođači nude daljinski upravljane komunalne uređaje. Namijenjeni su za obradu travnatih površina na nedostupnim terenima, primjerice na strmim kosinama ili prostorima ograđenim na taj način da nije osiguran pristup drugim tipovima komunalne mehanizacije. Cijene proizvoda održavaju se u rangu u kojem mogu konkurirati univerzalnim strojevima koji koriste priključne uređaje. U odnosu na njih zbog svoje manje mase imaju i manji utjecaj na tlo. Zbog svoje namjene ove strojeve odlikuje visoka kvaliteta i robusna izrada, ali to se očituje i u visokoj cijeni.

### **2.2.1. Irus quatrak**

Irus quatrak jedan je od predstavnika ove grupe proizvoda. Radi se o stroju sa stalnim pogonom na 4 kotača i koji skretanje ostvaruje zakretanjem oko zgloba koji spaja prednje i zadnje kotače. Snaga se na sve kotače, kao i na pogon alata prenosi hidrauličkim prijenosnicima, a samo skretanje ostvaruje se pomoću hidrauličnih klipova. Za pogon glavne pumpe koristi se 4-taktni benzinski motor snage 22,5kW. Proizvođač osim klasičnih pneumatskih kotača sa utorima za samočišćenje nakupljenog blata nudi i metalne kotače sa šiljcima. Uz pomoć metalnih kotača ovaj stroj može raditi na kosinama od 50°. Kako bi se osigurao ispravan rad benzinskog motora, koristi se uređaj za niveliranje motora na kosinama. Alati za košnju nude se u 4 različite izvedbe. Tako su u ponudi malčeri sa Y-noževima zahvata 1050 ili 1250 milimetara, te rotacijska i strižna kosa u zahvatima od 1250 do 1900 milimetara. Malčerski priključci dopuštaju i obradu nepročišćenog terena obraslog nižim grmljem. Osim alata za košnju u ponudi su i ostali priključni alati poput metilica ili rotodrljača. Maksimalna brzina kretanja stroja je 7 km/h, a težina mu se ovisno o prključcima i izvedbi kotača kreće između 300 i 500 kilograma. Daljinsko povezivanje sa upravljačem ostvaruje se preko radijske veze u frekvencijama između 433,1 i 434,75 MHz, uz domet veze od 200-300 m što je sasvim dovoljno da pokrije vidno polje operatera.



Slika 9. Irus Quatrak [9]

### 2.2.2. RoboFlail

Ovaj proizvod nastao je u suradnji više njemačkih i jedne britanske tvrtke. Na taj način su najbolje iskorištena znanja iz različitih stručnih područja kojima se tvrtke u suradnji bave. Radi se o stroju koji za gibanje po terenu koristi gumene gusjenice korištenjem kojih se poboljšavaju terenske sposobnosti stroja, a ujedno smanjuje oštećenje travnjaka. Zahvaljujući niskom težištu i posebno ovješnom spremniku goriva ovaj stroj može raditi na nagibima od  $55^\circ$ . Stroj je pogonjen benzinskim motorom snage 25 konjskih snaga (19 kW). Ovaj motor koristi posebne pumpe goriva i ulja koje osiguravaju ispravan rad na kosinama. Stroj se može opremiti različitim rotacijskim kosilicama i malčerima do maksimalnog zahvata od 122 cm. Uz brzinu kretanja do maksimalnih 10 km/h, radni kapacitet stroja je približno pola hektara po satu.



Slika 10. RoboFlail one [10]



### 2.2.3. Dvořák Spider

Ovaj proizvod razvijen je unutar strojarskog odjela češkog konzorcija Dvořák. Jedinstven je po korištenju potpuno holonomnog sustava skretanja u kojem se svaki od 4 pogonska kotača može neovisno zakretati. Kinematska veza kotača je ostvarena korištenjem određenih upravljačkih algoritama implementiranih u kontrolnu stanicu. To znači da se ovaj uređaj u bilo kojem trenutku može pomaknuti u bilo kojem smjeru po volji operatera, bez potrebe za obavljanjem suvišnih kretanja poput rotiranja stroja. Po potrebi je moguće i zarotirati stroj oko njegovog težišta u bilo kojem trenutku. Rotacija je potrebna samo za usmjeravanje robota na planiranu pravocrtnu liniju kretanja tijekom koje je poželjno ostvariti preklapanje linija koje opisuju kotači stroja kako bi se smanjio utjecaj na teren. Ovakav način kontrole znatno olakšava korištenje stroja i vrijeme košnje pošto se smanjuje vrijeme potrebno za manevriranje robotom. Ove prednosti se najviše ističu na travnjacima kompliciranih geometrija i sa većim brojem prepreka.

U ponudi je trenutno druga generacija njihovog jedinstvenog proizvoda pod tvorničkim nazivom ILD 02. Koristi benzinski motor tvrtke Kawasaki snage 24 konjskih snaga (18 kW). Prijenos snage ostvaruje se hidrostatskim prijenosnicima tvrtke Danfoss. Košnja se obavlja sa 4 rotirajuće oštrice razmještene tako da je efikasnost košnje podjednaka u svim smjerovima kretanja robota. Radni zahvat ovakvog sklopa za košnju je 1230 mm. Uz maksimalnu brzinu kretanja od 8 km/h radni kapacitet stroja naveden u specifikacijama je 7500 m<sup>2</sup> po satu uz potrošene 3 litre goriva. Maksimalni preporučeni nagib rada je 41°. Dimenzije stroja su 1640x1430x920 mm, a težina 335 kg.



Slika 11. Spider MINI

Od dodatnih opcija za ovaj uređaj nudi se priključna ralica te daljinski upravljano vitlo. Pomoću ovog vitla moguća je sigurna košnja na kosinama do 55° i na nesigurnim terenima poput primjerice strmih obala rijeka gdje postoji opasnost od klizanja tla.

Osim ILD 02, Dvořák proizvodi i manju izvedbu naziva Spider MINI. Ovaj uređaj ima radni zahvat od 56 cm, što je usporedivo sa gurajućim motoriziranim kosilicama, te znatno manje ukupne dimenzije u odnosu na ILD 02. Osim toga, pri 125 kg ima i značajno manju težinu što samo po sebi može predstavljati prednost na nekim terenima. Zbog manjih dimenzija stroja u odnosu na visinu težišta i maksimalni nagib rada je smanjen na 30°. Osim radnog zahvata sa konvencionalnim gurajućim kosilicama dijeli i pogonski agregat, dvotaktni benzinski motor tvrtke Briggs & Stratton zapremnine 190 cm<sup>3</sup> i normirane snage od 6,5 konjskih snaga (4,8kW). Ovaj uređaj koristi jedno rotirajuće sječivo koje je direktno spojeno na vratilo motora, a pogon kotača ostvaren je preko hidrostatskih prijenosnika. Najveća brzina kretanja je 4 kilometara na sat. Produktivnost ovog stroja je 750 m<sup>2</sup>/h, pri čemu se potroši 1 litra mješavine goriva i ulja za dvotaktne motore.



### 3. AUTONOMIJA ROBOTA

Autonomni roboti su oni roboti koji mogu izvršiti svoje zadatke u neorganiziranom okolišu bez trajnog navođenja od strane operatera. Visok stupanj autonomije pogotovo je poželjan u području svemirskih istraživanja, ali i u svakodnevnim kućnim zadacima kao što je metenje, usisavanje ili košnja trave. Većina današnjih robota je uvjetovano autonomna unutar strogih granica svog radnog prostora. Ograničenja su nametnuta ili kroz manjak informacija o okolini, nemogućnost procesuiranja dobivenih informacija, ili nepraktičnost postavljanja naprednih senzorskih sustava. Kao smjernice za osnivanje potpuno autonomnog robota, zadana su osnovna pravila:

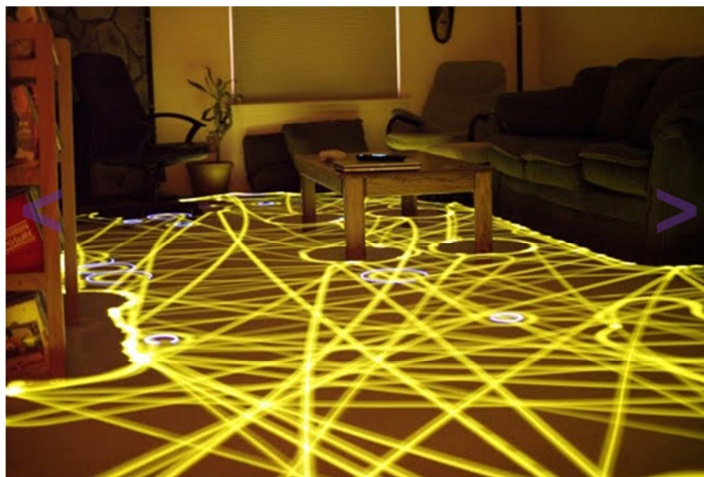
Autonomni robot mora imati mogućnost:

1. Primanja informacija o svojoj okolini
2. Nesmetanog rada dulje vremenske periode bez ikakve ljudske intervencije
3. Kretanja kroz svoju radnu okolinu bez pomoći operatera
4. Izbjegavanja situacija koje mogu naškoditi ljudima ili izazvati oštećenje imovine.

Osim zadovoljavanju osnovnih pravila, teži se i tome da se autonomni robot može prilagoditi svim situacijama kroz učenje ili samostalno modificiranje strategija potrebnih za izvršavanje zadataka. Ovaj zahtjev je pogotovo izražen u sredinama unutar kojih se konstantno mijenja konfiguracija okoliša. Još jedna funkcija autonomnih robota, koja je ipak još u razvojnog stadiju je mogućnost samostalnog održavanja i popravaka.

Određena autonomija robota, može se postići korištenjem jednostavnih mikrokontrolera, ali samo za jednostavnije programe poput izbjegavanja prepreka ili slijedenje predefinirane putanje. Tako je moguće narediti robotu da se kreće pravocrtno dok ne naiđe na prepreku te da se nakon toga zakrene za nasumičan iznos i nastavi kretati pravocrtno do sljedeće prepreke. Na ovaj način je moguće ostvariti da robot obavi neku radnju unutar površine ograničene kontinuiranom preprekom koju senzori robota mogu registrirati. Iako postoji mala mogućnost da uz ovakav algoritam robot ne prođe cijelu površinu, u većini slučajeva će cijela površina biti pokrivena. Primjer uzorka koji nastaje ovakvim kretanjem vidljiv je na slici [Slika 12]. Slika je dobivena montiranjem izvora svijetla na robotizirani kućni usisivač iRobot Roomba i

fotografiranjem kroz produženu ekspoziciju u trajanju od nešto preko 30 minuta. Ovakav algoritam koristi većina današnjih robotiziranih kućnih usisavača i kosilica. Najveća prednost ovakvog sustava je u njegovoj jednostavnosti, a mana je u sporom obavljanju zadatka prolaska cijele površine. Osim toga, potrebno je ograđivanje radnog područja, i robot u svojem kretanju više puta prelazi preko istih staza što isključuje mogućnost uporabe za neke zadatke te uzrokuje veću obrađenost nekih površina u odnosu na ostale.



**Slika 12. Uzorak nasumičnog kretanja[13]**

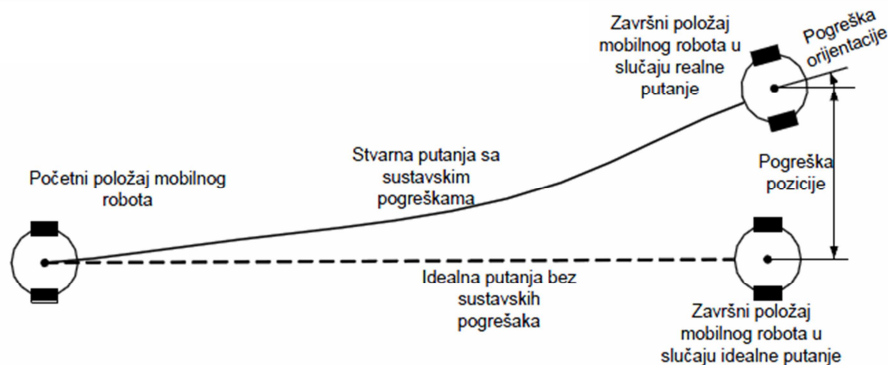
U slučaju da je potrebno implementirati kompliciranije algoritme upravljanja moguće je korišteni mikrokontroler serijskom vezom spojiti sa upravljačkom jedinicom viših performansi. Takav pristup omogućio bi programiranje u višim programskim jezicima, te uključivanje u računalne mreže koje sam mikrokontroler ne podržava. Uz takav sustav moguće je implementirati sofisticiranije algoritme navigacije i lokalizacije u prostoru, koji bi omogućili korištenje mapa ili postavljanje nevidljivih granica gibanja bez potrebe za fizičkim postavljanjem barijera ikakvog tipa. Ovakav pristup ipak predstavlja izazov, pošto ne postoje pristupačna komercijalna rješenja koja bi zadovoljila potrebe ovog projekta, a samostalno razvijanje ovih sustava zahtijeva dugotrajno istraživanje i razvoj. U sljedećem potpoglavlju dati će se općeniti pregled ovakvih metoda, problema i postojećih sustava.

### **3.1. Navigacija i lokalizacija**

Lokalizacija je proces određivanja točne pozicije robota u okolišu. Time se može dobiti apsolutna pozicija u odnosu na zemaljsku os korištenjem globalnih koordinata, pozicija na mapi unutar programske memorije, relativna pozicija u odnosu na startnu, te u odnosu na neku referentnu točku ili više njih. Sama lokalizacija može se ostvariti sa ili bez egzaktna mape okoliša. Sama mapa sadrži informacije o okolišu koje mogu pomoći robotu da se na njoj točno lokalizira uz pomoć svojih ograničenih senzora. Tako na primjer sonarski senzori daju samo informaciju o udaljenosti robota od prepreke u vidnom polju senzora. Lokalizacijski algoritmi uzimaju te informacije, obrađuju ih kako bi otklonili šumove i čiste informacije spremaju u privremenu memoriju. Nakon toga nalaze uzorke u toj bazi podataka i uspoređuju ih sa uzorcima na preprogramiranoj mapi prostora. Nakon pronalaženja svega nekoliko jasnih geometrijskih referenci moguće je odrediti točnu poziciju robota u mapiranom prostoru. Na taj način ostvarena je mogućnost vrlo precizne lokalizacije korištenjem jednostavnih i jeftinih senzora. Ipak, treba uzeti u obzir da ovakav algoritam zahtijeva mnogo resursa u vidu računalnih kapaciteta.

#### **3.1.1. Relativno lociranje korištenjem odometrijskih senzora**

Najjednostavniji način lokalizacije robota je pomoću odometrijskih senzora. Ovi senzori mjere udaljenost koju je prevalila jedna točka fiksirana na robotu. Na taj način pružaju direktnu informaciju o relativnoj poziciji robota u odnosu na startnu poziciju. To znači da možemo dobiti i globalnu poziciju ako znamo globalne koordinate startne pozicije. Najčešći način dobivanje odometrijskih izmjera je integriranjem kutnog zakreta kotača robota. Takav pristup neizbježno dovodi do akumulacije grešaka kroz vrijeme, bilo to zbog nesavršenosti korištenih senzora, zbog odstupanja dimenzija ili proklizavanja kotača. Greške zbog proklizavanja su pogotovo izražene kod robota koji skretanje ostvaruju diferencijalnom prijenosom snage na kotače, jer se kod njih samo skretanje ostvaruje proklizavanjem. Neke od ovih grešaka mogu se otkloniti korištenjem drugih tipova odometrijskih senzora, koji ne zahtijevaju mehaničku vezu sa podlogom. Primjeri takvih senzora su senzori temeljeni na doplerovu efektu, inercijski senzori ili kamere koje snimaju kretanje podloge.



**Slika 13. Ilustracija akumulacije grešaka kod odometrijskih mjerenja[11]**

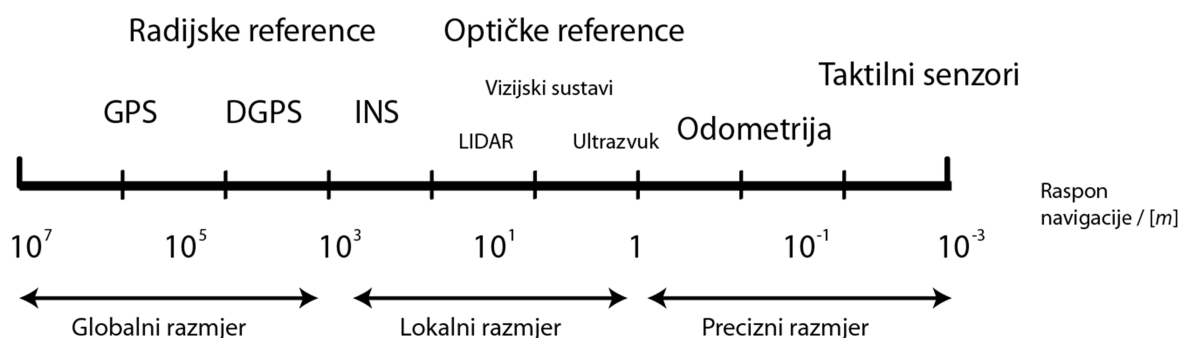
Bez obzira na svoje nedostatke odometrijski senzori se redovito koriste u mobilnoj robotici i drugim sustavima gdje je potrebna lokalizacija ili samo mjerenje udaljenosti. Za svoju cijenu pružaju najbolju preciznost za cijenu koštanja senzora unutar relativno velikog intervala gdje se greška nije nagomilala van dozvoljene tolerancije, a nezamjenjivi su u sustavima koji koriste radiovalove za globalno pozicioniranje i gdje postoji opasnost od gubljenja signala. U tom slučaju pomoću njih se određuje relativna pozicija u odnosu na zadnju dobivenu globalnu koordinatu, i očekuje se da će se signal vratiti prije nego se greška popne izvan dozvoljenih tolerancija. Koriste se i u sustavima koji koriste vanjske reference. Osim toga, kroz senzorsku fuziju odometrijski senzori mogu se koristiti za poboljšanje preciznosti i otklanjanje šumova u očitavanju sa drugih senzora.

Relativnu orijentaciju robota moguće je izračunati kroz kinematski model robota korištenjem podataka dobivena sa dva odometrijska senzora montirana na suprotne strane robota ili jednostavnije, korištenjem žiroskopa. Relativno jednostavno je dobiti i apsolutnu orijentaciju robota u odnosu na zemljopisnu os Zemlje korištenjem osjetljivih senzora magnetskoga polja.

### **3.1.2. Lociranje pomoću vanjskih referenci**

Lociranje je moguće ostvariti i pomoću određivanja odnosa pozicije robota u odnosu vanjske reference poznatih koordinata u prostoru. Za vanjske reference mogu se iskoristiti već postojeće osobine prostora, poput primjerice kutova ili vrata u građevinskim objektima ili istaknute vegetacije na otvorenim prostorima. Takve reference bez obzira na to jesu li nastale prirodnim procesima ili su djelo ljudskih ruku nazivamo „prirodnim referencama“ jer se one uobičajeno nalaze u prostoru i nisu namjenski stvorene za pomaganje u lokalizaciji robota. Nasuprot tome imamo „umjetne reference“ koje mogu biti pasivne ili aktivne. Primjer pasivne umjetne reference je objekt koji je namjenski stavljen u prostor kako bi ga robot

mogao detektirati pomoću svojih senzora. Kako bi se osiguralo da će robot detektirati senzor, potrebno je voditi računa o smještaju takvih objekata, te osigurati da se oni na neki način ističu od okoline. Tako ih je na primjer potrebno specifično oblikovati kako bi se istaknuli za vizijske sustave ili im povećati reflektivnost ako koristimo optičke senzore. Kažemo da povećavamo „kontrast“ u odnosu na okolinu. Aktivna umjetna referenca je primjerice radijski odašiljač koji konstantno odašilje signal dok je na robotu instaliran prijemnik takvog signala. U takvom slučaju moguće je odrediti jakost i kvalitetu primljenog signala, koja je u izravnoj vezi sa udaljenosti prijemnika od izvora signala.



Slika 14. Pregled razmjera navigacije za različite sustave lokalizacije

## 4. RAZVOJ PROIZVODA

Koncipiranje i konstruiranje u strojarstvu su kreativne su aktivnosti koje uključuju procese racionalnog donošenja odluka vezanih uz određeni problem. Ove aktivnosti služe zadovoljavanju određene potrebe pomoću mehaničkih sustava čija generalna konfiguracija, specifikacije, performanse i detaljna definicija zadovoljavaju zamišljenu zadaću koju proizvod treba izvršavati[3]. Ne postoji ujedinjeni pristup ili metodologija kako koncipirati i konstruirati neki sustav, isto kako ne postoji univerzalni pristup kreativnosti. Tako postoji mogućnost da svaki konstruktor dođe do različitog rješenja za isti problem. Unatoč tome, ipak postoje opće smjernice koje bi se mogle koristiti generalnom slučaju.

Samo koncipiranje je faza razvoja proizvoda gdje je naglasak stavljen na prikupljanje svih vrsta informacija o proizvodu koji se razvija. One se zatim ocjenjuju, određuju se njihovi međusobni utjecaji, te se na temelju cijelog tog procesa provodi odlučivanje o konceptima proizvoda. U ovoj fazi potrebno je prvo prepoznati stvarne potrebe kupaca, te analizirati slične proizvode koji su već dostupni na tržištu. Nakon toga mogu se okvirno odrediti ciljane karakteristike, generirati koncepti proizvoda i izraditi tehnoeekonomska analiza kojom se odabire najbolji koncept.

### 4.1. Potrebe kupaca

Iz analize sličnih proizvoda provedene u prethodnim poglavljima može se zaključiti da su pokrivena dva tržišta koja se svojim zahtjevima jako razlikuju. Tako postoje proizvodi za kućnu uporabu koji se proizvode u velikim serijama koje odlikuje visok stupanj autonomije i daljinski upravljani strojevi za profesionalnu uporabu. Kako uređaje za kućnu uporabu koriste osobe različitih stupnjeva tehničkih znanja i vještina, njihova uporaba je prilagođena lagodnom korištenju. Osim toga, najveća prednost ovih uređaja je potpuno automatizirano djelovanje, tako da se od njih očekuje da rade i bez nadzora. Zbog te činjenice dolazi do potrebe za potpunim otklanjanjem opasnosti dok stroj radi bez nadzora. Sve to dovelo je do potrebe u ostvarivanju mnogih kompromisa u vidu konstrukcije samog stroja, a pogotovo alata za košnju koji predstavlja najveću opasnost. Strojevi na primjer zbog toga imaju male radne zahvate, male brzine kretanja i potrebna je prethodna priprema travnjaka.

Kako bi se cijena održala u prihvatljivom rangu za kućnu uporabu, korištena upravljačka jedinica je prilično primitivna i koriste se jednostavni algoritmi za kretanje po travnjaku koji ne zahtijevaju velik broj senzora i ne zahtijevaju puno programske memorije. Osim same štednje u razvoju i proizvodnji, ovakvi sustavi imaju i funkciju ostvarivanja jednostavnosti korištenja i robusnosti sustava. Iako snaga svih trošila kod ovakvih uređaja rijetko prelazi 200W, njihova je efikasnost zbog nasumičnog načina košnje prilično mala. Male snage traksijskih motora dovode do potrebe za malim promjerima pogonskih kotača što dovodi do potrebe ravnjanja tla i redovitog uklanjanja svih prepreka koje sustavi za otkrivanje prepreka ovih uređaja ne bi mogli registrirati, a koji bi mogli dovesti do otežavanja ili potpunog onemogućavanja kretanja uređaja.

Sa druge strane spektra nalazimo strojeve koji se proizvode po narudžbi i služe za uređenje javnih površina. Ovi strojevi gotovo isključivo zahtijevaju stalnu prisutnost operatera koji daljinskim upravljačkim jedinicama upravlja sa strojem. Zbog njihove namjene odlikuje znatno veća mobilnost, robusnost i snaga radnih motora te konstrukcije alata. Oni tako mogu bez prethodne pripreme obraditi zapuštene travnate površine na kojima je već počelo rasti drvenasto bilje. Specifikacije i performanse ovih strojeve nadmašuju one potrebne za redovito održavanje travnjaka, ali iz njihove analize moguće je dobiti neke smjernice za poboljšanje koncepata proučenih kod kućnih robotiziranih kosilica.

**Tablica 1. Glavne potrebe korisnika**

Potrebe korisnika	Ocjena važnosti(1-5)
Kvalitetna košnja travnjaka	5
Automatiziran rad	5
Sigurnost	5
Smanjenje buke	4
Visok stupanj autonomije	2
Mogućnost obavljanja dodatnih funkcija	2

## 4.2. Definicija proizvoda

Kako bi se jasnije definirala forma konačnog proizvoda, prije same konstrukcije potrebno je izraditi tehnički upitnik i definirati ciljeve proizvoda. Time se stvaraju ograničenja kojima se usmjerava razvoj i time sprečava mogućnost dolaska do prevelikog broja rješenja od kojih mnoga ne bi zadovoljavala potrebe tržišta ili ekonomska i tehnološka ograničenja.

Ovako izgleda tehnički upitnik za definiranje ciljeva proizvoda:

- **Što je problem koji treba riješiti?**

Automatizirana košnja trave uz ograničenu pomoć operatera.

- **Koja implicitna očekivanja i želje su uključena u razvoj?**

Visok stupanj autonomije, visok radni učinak.

- **Da li su prepoznate potrebe kupaca, funkcionalni zahtjevi i ograničenja zaista odgovarajući?**

Primjedbe na postojeće uređaje registrirane su na forumima, recenzijama i javnim komentarima na vezane članke i videozapise.

- **Koje su mogućnosti kreativnog razvoja i inventivnog rješavanje problema?**

Moguće nalaženje novog rješenja za snalaženje u prostoru, mogućnost priključenja drugih alata, kako nošenih tako i vučenih.

- **Ima li limita na kreativni razvoj?**

Dopušteno korištenje isključivo električne energije.

- **Koje karakteristike/svojstva proizvod nužno mora imati?**

Kvalitetna košnja travnjaka bez potrebe za prethodnim pripremama. Sigurnosne funkcije zbog opasnosti koje predstavlja sječivo, te mogućnost daljinskog upravljanja.

- **Koje karakteristike/svojstva proizvod sigurno ne smije imati?**

Ne smije postojati mogućnost gubljenja kontrole nad uređajem u bilo kojem trenutku tijekom rada. Ne smije raditi brzinama većim od brzine ljudskog hoda.

- **Koji se aspekti razvoja mogu i trebaju kvantificirati u ovom trenutku?**

Radni zahvat, prihvatljiva kombinacija elektromotora i baterija koja bi zadovoljila zadani kriterij autonomije rada od jednog sata.



- **Da li su razvojni zadaci postavljeni na prikladnoj razini apstrakcije?**

Stupanj autonomije nije zadan. Potrebno je pronaći isplativo i dostupno rješenje za sistematsko provođenje košnju ili iskoristiti komercijalna rješenja.

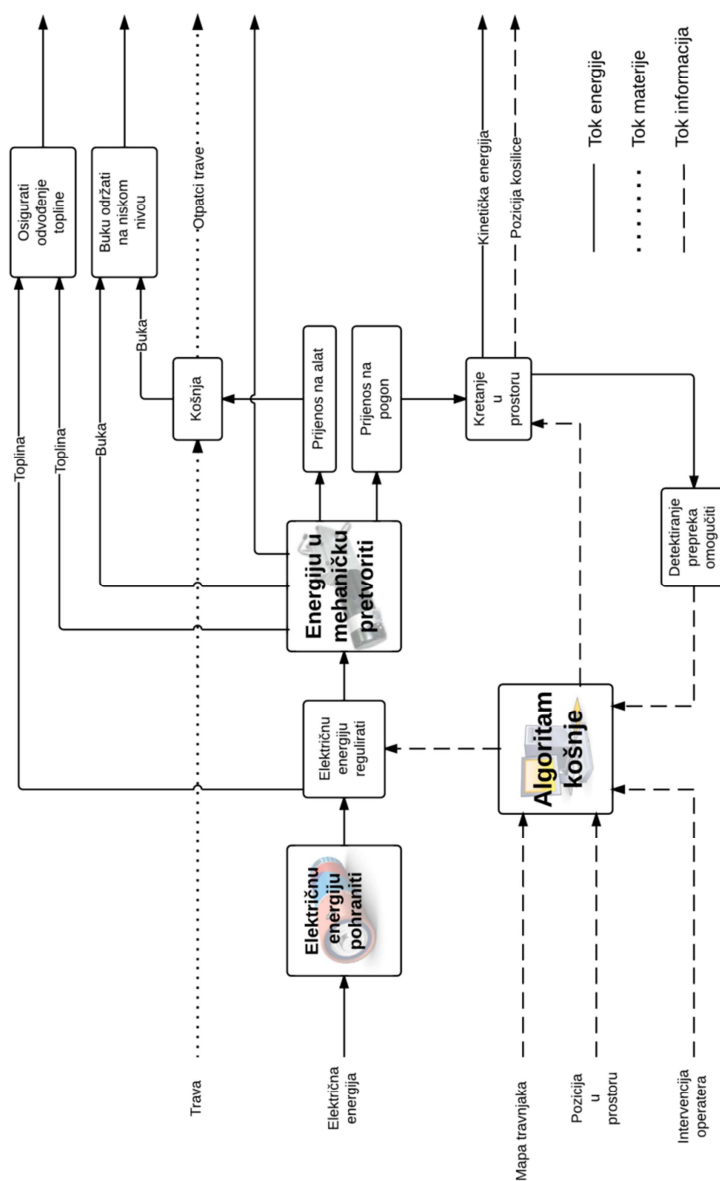
- **Koji su tehnički i tehnološki konflikti naslijeđeni u razvojne zadatke?**

Konstrukcije alata za košnju, sustavi za pronalaženje pozicije u prostoru.

Kao rezultat upitnika izrađena je konačna definicija ciljeva proizvoda prikazana u tablici Tablica 2.

**Tablica 2. Definicija ciljeva proizvoda**



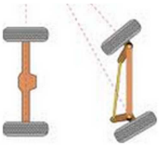


<b>Opis proizvoda</b>
Uređaj za automatiziranu košnju travnjaka
<b>Ključna poslovna očekivanja</b>
6-mjeseci razvoja za prvu varijantu, očekivana godišnja potražnja u prvoj godini 20 – 100 jedinica
<b>Primarno tržište</b>
Komunalne službe i posjednici velikih travnatih površina, prvenstveno sportskih terena ili privatnih parkova.
<b>Sekundarno tržište</b>
Domaćinstva koja posjeduju veće travnjake.
<b>Pretpostavke</b>
Osiguravanje servisa i rezervnih dijelova, mogućnost nadogradnji kako bi se sljedili napretci u vezanim tehnologijama.
<b>Pravci kreativnog razvoja</b>
Odabir odgovarajuće kombinacije elektromotora i baterija, odluke o korištenim kataloškim dijelovima, modularna izvedba koja ostavlja mogućnost nadogradnji te osmišljavanje sustava za snalaženje u prostoru.
<b>Limiti</b>
Mjere sigurnosti, dostupnost tehnologija.








Slika 15. Funkcijska dekompozicija uređaja

Korištenjem navedenih ciljeva i smjernica razvoja izrađuje se morfološka matrica. Time se dobiva praktičan pregled svih mogućih tehničkih rješenja za probleme koji se nameću za pojedine funkcije pretpostavljenog proizvoda. Na temelju ove matrice izradit će se jedan koncept za koji će se dalje razraditi detalji. U slučaju potrebe za modifikacijama, ista matrica se može iskoristiti za pronalaženje novih rješenja.

Tablica 3. Morfološka matrica

Parcijalna funkcija	Principi i rješenja			
Stavljanje u pogon	Posredno	Timer		
Upravljanje strojem	Daljinsko upravljanje	Ugrađeni mikroprocesor	Klijent računalo	
Povezati sa klijent računalom	Wi-Fi	433 Mhz	3G/UMTS/EDGE	
Košnja trave	Cilindrično sječivo	Rotaciono sječivo	Horizontatlni malčer	Vertikalni malčer
Gibanje omogućiti	Kotači 		Gusjenice 	
Skretanje ostvariti	Ackermanova geometrija 	Diferencijalna struktura 	Zglobni sistem 	
Okretni moment na pogonski element prenjeti	Vratilo	Zupčani	Lančani	Remenski
Korisnika od rotirajućih dijelova zaštititi	Oblikom	Naljepnicama upozorenja	Svjetlosnim upozorenjima	

Okretni moment na alat prenjeti	Vratilo	Zupčani	Lančani	Remenski
Uklanjanje otpadaka trave	Spremnik trave 	Malčiranje 	Priključni uređaj 	
Spojiti priključni uređaj	Klin		Kuglasta spojka	
Lokalizaciju ostvariti	GPS 		Lokalne oznake 	
Snalaženje u prostoru	Nasumično kretanje	Odometrijski		Vanjske reference
Prepreke detektirati	Mehaničko ticalo	IR senzori		Ultrazvučni senzori

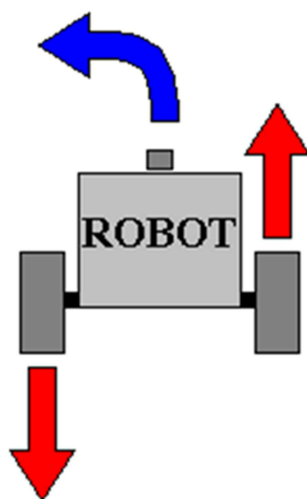
Primarno rješenje

Sekundarno rješenje

Koncept izveden po gore odabranim principima u daljnjem tekstu će se navoditi pod tvorničkim nazivom **ARK-012**. Tvornički naziv je izveden iz akronima naziva proizvoda i skraćenog zapisa godine u kojoj je koncept začeo.

## 5. KONSTRUIRANJE

Osnovna konfiguracija zamišljene platforme je diferencijalna struktura. Ona će dakle imati dva pogonska kotača na svakoj strani uređaja, od kojih svaki ima neovisan pogon i kontrolu. U takvoj konfiguraciji skretanje se ostvaruje mijenjanjem omjera brzina između pogonskih kotača. Tako na primjeru sa slike robot skreće ulijevo kada se desni kotač pokreće u smjeru kazaljke na satu, a lijevi u smjeru suprotnom od kazaljke na satu. Ovakva konfiguracija specifična je na gusjeničare, kao na primjer tenkove ili građevinske strojeve. Za tu strukturu je specifičan mali radijus skretanja, može se okrenuti doslovce na mjestu, i jednostavna izrada, jer osim prigona ne zahtijeva nijednu komponentu koja zahtijeva preciznu izradu.



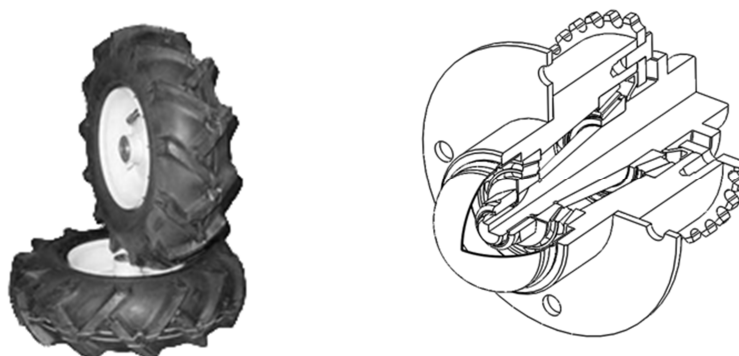
Slika 16. Diferencijalna struktura platforme

### 5.1. Propulzijski sustav

Za prijenos okretnog momenta na podlogu nameću se dva uobičajena rješenja. Radi se o pogonu preko kotača ili korištenjem gusjenica. Kod sustava sa gusjenicama težina pokretanog vozila raspoređena je na znatno veću površinu u odnosu na sustave koji koriste kotače. To omogućuje takvim vozilima da se kreću preko rasutog ili blatnog terena na kojem bi vozila sa kotačima zbog upadanja bila onesposobljena. Ta činjenica također znači da takva vozila znatno manje sabijaju tlo za istu težinu. Zbog toga se takvi pogoni često koriste u teškim traktorima, kako bi što manje utjecali na tlo tijekom obrade poljoprivrednih površina. Uz sve to gusjenični pogoni imaju i znatno manje problema sa gubitkom traksijske sile poradi

proklizavanja, tako da je primjerice uobičajeno da tenkovi pri naglom zaustavljanju imaju znatno manji zaustavni put od mnogo lakših osobnih vozila. Gusjenični pogoni se sastoje od kontinuiranog pojasa i sustava kotača za njihovo vođenje i prijenos momenta. Taj pojas može biti sastavljen od metalnih segmenata, ili izrađen od gume ojačane čeličnim sajlama. Najčešće se koriste kod borbenih vojnih vozila, te građevinskih i poljoprivrednih strojeva.

Unatoč svim navedenim prednostima gusjeničnih pogona, za projekt opisan u ovome radu puno boljim rješenjem su se pokazali pneumatski kotači. Zbog male ukupne mase stroja, utjecaj na travnjak i tlo je neznatan. Poboljšanje terenskih sposobnosti može se ostvariti prijenosom pogonskog momenta na više kotača. Osim toga, sustavi sa kotačima zauzimaju znatno manji volumen i imaju manje ograničenja u mogućnostima smještanja, te tako omogućuju veću fleksibilnost u dizajniranju uređaja. Uz sve to, puno su dostupniji i jeftiniji od usporedivih gusjeničnih sustava. Odabrani su kotači sa pneumaticima dimenzija 3.50-6 i traktorskim profilom koji osigurava dobro prijanjanje u svim uvjetima uz efekt samočišćenja blata. Ovi pneumatici se često koriste kod motokultivatora, tako da postoji mogućnost korištenja sklopa naplatka i glavine zajedno sa vratilom i krajnjim transmisijским elementom iz kataloga rezervnih dijelova. Još jedna prednost takvog pristupa je u mogućnosti korištenja utega namijenjenih za montiranje na spomenute naplatke. Tim potezom se na brz i jednostavan način može smanjiti visina težišta cijelog uređaja, čime se smanjuje mogućnost prevrtanja stroja pri radu na strmim nagibima. Ujedno se povećava normalna sila na podlogu što je korisno ako kotači suviše proklizavaju. Za zadržavanje stlačenog zraka zahtijevaju korištenje zračnica, a gumene obloge su robusne konstrukcije sa više slojeva učvršćujuće tkanine i čeličnom žicom na spoju sa felgom. Pošto se u ovoj dimenziji proizvode gumene obloge raznih izvedbi, moguća je jednostavna izmjena u slučaju da se pokaže da grubi traktorski profil suviše oštećuje travnjak.



**Slika 17. Odabrani kotači i konstrukcija glavine kotača**

Kotači su na konstrukciju namontirani preko glavine tokarene iz čelične šipke promjera 80 mm, na koju su dodatno navareni vijenci sa rasporedom rupa koji odgovaraju dvodijelnim naplaticima koji će se koristiti. Obrađeni zupčanik se pričvršćuje pomoću četiri vijka M6, a svojim oblikom osigurava i ispadanje brtvenog prstena. Uležištenje je ostvareno preko dva uparena konusno valjkasta ležaja, kako bi se omogućilo preuzimanje aksijalnih sila u dva pravca. Odabrani su ležajevi različitih dimenzija kako bi se olakšala montaža i demontaža. Ispadanje masti je spriječeno korištenjem zaštitnog čepa iz ponude rezervnih dijelova za automobile.

## 5.2. Konstrukcija alata

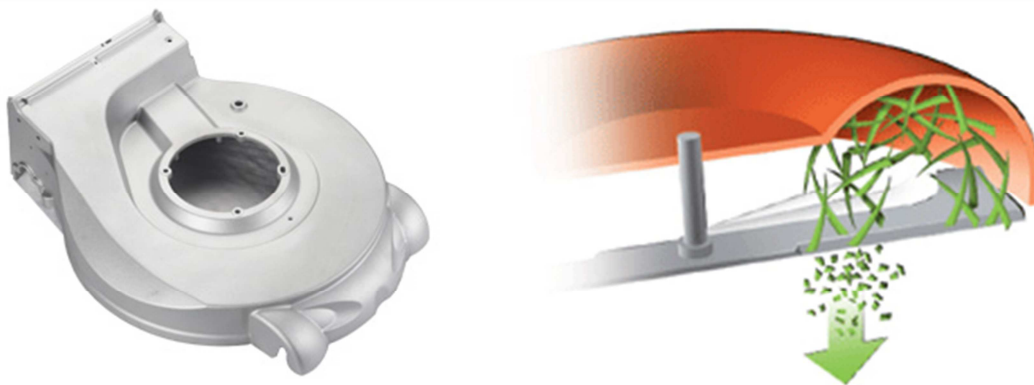
Ljudi su travnate površine počeli održavati tek početkom 17-og stoljeća. Tek tada su dizajneri vrtova Engleske kraljavske obitelji uvidjeli potencijal uređenih otvorenih površina. Time je otvorena mogućnost za organiziranje socijalnih druženja u ugodnijem okolišu te je dobivena nova opcija za spajanje dijelova velebnih kraljevskih zdanja. Prije izuma raznih alata za košnju travnjaka, oni su se održavali ručnim kosama, ili puštanjem domaćih životinja na ispašu. Prvi alat za košnju temeljen na uređaju korištenom u tekstilnoj industriji izumljen je 1827.-e godine. Radilo se o konstrukciji sa fiksnim sječivom i rotirajućim cilindrom u obliku kaveza. Kavez je izrađen od čeličnih elemenata koji čine spirale blagog uspona po oplošju spomenutog cilindra. Ovi elementi primiču vlati trave prema sječivu, i svojom blagom kosinom ih sile na lateralno gibanje koje potpomaže rezanje. Prvi takav alat imao je radni zahvat od 48 cm, i bio je namijenjen guranju od strane jedne osobe. Ova zamisao se ispočetka pokazala neostvarivom, prvenstveno zbog velikog otpora uređaja, ali i njegove teške konstrukcije izrađene od sivog lijeva. Izumitelji su i tome doskočili, ugradnjom ručke za vuču, tako da je operator mogao dobiti pomoć još jedne osobe. Kosilice iste konstrukcije se koriste i danas, ali u znatno manjim zahvatima, i znatno lakšim izvedbama. One predstavljaju ekonomično rješenje za održavanje manjih travnjaka, ali mnogi cijene i njihov princip košnje koji svojim reznim djelovanjem ne oštećuje vlati trave u mjeri kojoj to rade ostali alati. Zbog te prednosti razvijani su i motorizirani alati istog principa, ali zbog većeg radnog kapaciteta češće se koriste druge konstrukcije.



**Slika 18. Izgled cilindrične kosilice iz 1888-e godine i današnja izvedba [16][17]**

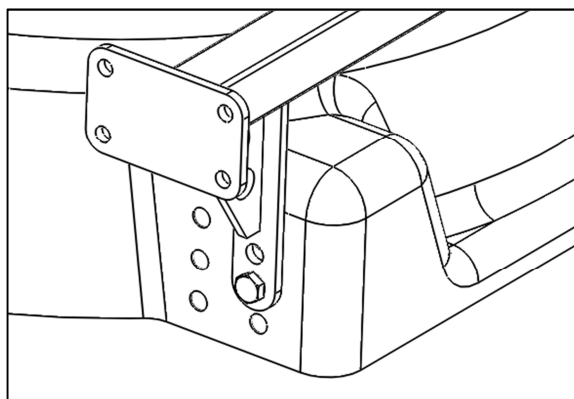
U međuvremenu su razvijene i drugi mehanizmi za košnju trave, ali nakon razvitka dovoljno jakih i malenih motora sa unutrašnjim izgaranjem, u segmentu kosilica za održavanje travnjaka počele su prevladavati kosilice sa rotirajućim sječivom. U osnovi se radi o naoštrenom plosnatom čeliku koji rotira u vertikalnoj osi na udaljenosti od tla koja odgovara željenoj visini trave. Ove kosilice su se 1920-ih počele masovno proizvoditi, a zbog njihove niske cijene i lakoće korištenja je postalo socijalno neprihvatljivo imati neuredan travnjak ispred kuće. To je dovelo do standardiziranja komponenti, ali i konstantnog razvoja pošto su brojni proizvođači morali steći neku konkurentnu prednost na tržištu. U današnje doba samo nekolicina proizvođača proizvodi benzinske motore za kosilice. Specifikacije tih motora su strogo nadzirane, i male su varijacije od proizvođača do proizvođača. Zbog toga su najveće razlike između kosilica u sječivima koje mogu koristiti, te konstrukciji kućišta samog sječiva. Današnja sječiva izrađena su od kvalitetnog alatnog čelika, a kućišta su posebno dizajnirana kako bi pospješila strujanje zraka koje omogućuje brzo izbacivanje otpadaka trave. Osim toga, moguće je koristiti i posebno dizajnirana sječiva, i njihova kućišta, koji svojim uzajamnim djelovanjem stvaraju turbulentne struje zraka unutar kućišta, zbog čega se otpatci više puta cirkuliraju oko oštrice. Takvo djelovanje dovodi do usitnjavanja trave u svojevrsan malč. Time se uklanja potreba za sakupljanjem otpadaka trave, a istovremeno stvara prirodno gnojivo za travnjak.





**Slika 19. Moderna konstrukcija kućišta sječiva i cirkulacije otpadaka trave[18]**

Zbog velike potražnje ovih uređaja dolazi do potrebe velikoserijske proizvodnje i standardizacije dijelova, čime se omogućuje formiranje manjih cijena proizvoda što dovodi do prednosti u prodaji. Osim toga, proizvođači nastoje osigurati dostupnost rezervnih dijelova, čak i za zastarjele modele, kako bi privukli kupce koji računaju na višegodišnju uporabu. Dakle, ne isplati se ulagati u istraživanje i razvoj posebni alata za košnju, kao ni investiranje u specifične alate za izradu pojedinih dijelova. Pogotovo u ranim fazama razvoja uređaja opisanog u ovome radu. Koristiti će se provjeren sklop kućišta, sječiva i njegova vratila renomiranog proizvođača. Ovi sklopovi razlikuju se u radnim zahvatima koji variraju u rasponima od 45 do 56 centimetara za gurajuće, te od 76 do 127 cm za vožene kosilice. Zbog autonomnog rada kosilice koji se nastoji postići nije potreban velik radni zahvat, a dodatnu prednost izbora manjeg zahvata predstavlja manja težina i ukupne dimenzije uređaja. Tako će se koristiti kućište zahvata 56 cm proizvođača MTD.

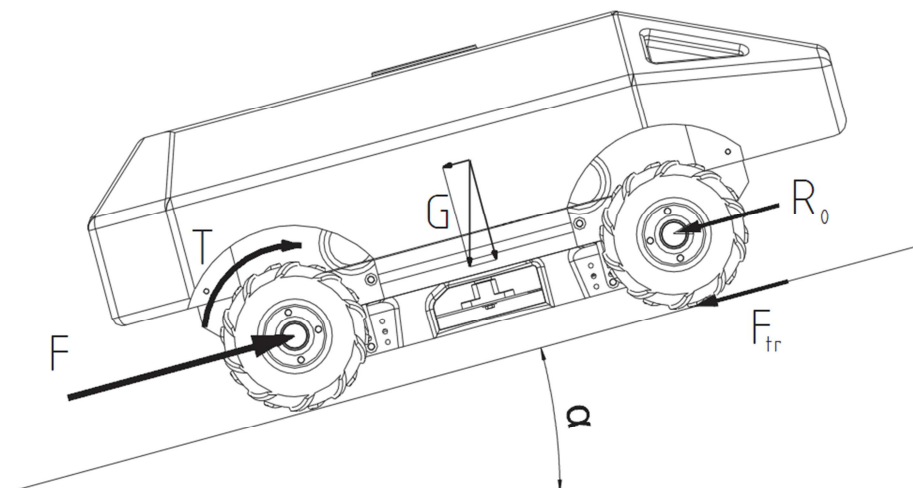


**Slika 20. Način podešavanja visine košnje**

### 5.3. Izbor motora

#### 5.3.1. Proračun potrebnih karakteristika trakcijskih motora

Trakcijski motori trebaju savladati silu trenja, komponentu sile gravitacije paralelnu na smjer gibanja u slučaju najvišeg predviđenog nagiba. Potrebno je savladati i inercijske sile prilikom pokretanja. Tu se ubraja inercijska sila sveukupne mase platforme, kao i sveukupni moment inercije pogona što uključuje moment inercije rotora elektromotora, prigona i kotača. I sama kosilica tijekom svog rada dodaje određeno opterećenje. U literaturi je navedeno 500 – 1000 N po metru radnog zahvata[19], ali treba uzeti u obzir da se ove vrijednosti odnose na kosilice različitih konstrukcija namijenjene za košnju krmnih trava i to nakon što su one dostigle produktivnu razinu. U normalnom radu bi zamišljena konstrukcija trebala redovito kositi male visine trave namijenjene za ukrasne travnjake koja ne sadrži bilje koje bi moglo predstavljati veći otpor.



Slika 21. Izračun potrebne trakcijske sile

$$F = \mu mg + mg \cdot \sin \alpha + ma + a \frac{In^2}{\eta r^2} + R_0 \quad (1)$$

$$T = F \cdot r \quad (2)$$

$$P = \frac{T \cdot \omega}{\eta_{uk}} \quad (3)$$

$\mu$	=	faktor trenja,
$m$	=	masa [kg],
$g$	=	ubrzanje Zemljine sile teže – 9,81[m/s <sup>2</sup> ],
$\alpha$	=	nagib maksimalnog uspona [°],
$a$	=	ubrzanje stroja [m/s <sup>2</sup> ],
$I$	=	moment tromosti [kgm <sup>2</sup> ],
$\eta$	=	iskoristivost prijenosnika,
$r$	=	polumjer kotača,
$R_0$	=	radni otpor alata[N],
$\omega$	=	brzina rotacije[rad/s],
$F$	=	potrebna trakcijska sila [N],
$T$	=	potreban moment [Nm],
$P$	=	potrebna snaga [W].

Prvi ulazni podaci temeljeni na procjenama što se tiče mase i trenja te željenih performansi, dakle maksimalnog kuta nagiba kojeg bi robot trebao savladati i tražene brzine prikazani su u tablici. Proračun je dao sljedeće vrijednosti koje se dalje mogu koristiti u odabiru motora. Pri tome treba imati na umu da će robot imati dva pogonska motora, tako da se vrijednosti praktički mogu podijeliti sa dva. Potrebna snaga pojedinog motora je približno 400W, a za dobivanje momenta na motoru potrebno je ovu vrijednost dobivenu proračunom podijeliti sa dva i zatim izračunati koliki bi prijenosni omjer bio potreban da moment sa motora dovede na željenu vrijednost, znači oko 45 N/m po motoru. Radi lakše konrole motora i manjih cijena, poželjno je izabrati istosmjerni motor sa permanentnim magnetima.

**Tablica 4. Potrebne karakteristike motora**

Ulazni podaci		Izlazni podaci	
Masa [ $m$ ]	100 kg	Moment na kotaču [ $T$ ]	89,808 Nm
Max. uspon [ $\alpha$ ]	20 °	Potrebna snaga [ $P$ ]	831,024 W
Trenje [ $\mu$ ]	0,15		
Radni zahvat [ $B_r$ ]	50 cm		
Ubrzanje [ $a$ ]	0,1 m/s <sup>2</sup>		
Brzina [ $v$ ]	5 km/h		

U izbor su uključeni motori iz ponude tvrtke Fracmo[20]. Ova tvrtka bavi se proizvodnjom istosmjernih električnih motora malih snaga. Tvrtka je specijalizirana za izradu manjih serija po vrlo visokim standardima, tako da se njihovi proizvodi mogu naći u aplikacijama gdje se traži visoka pouzdanost kao naprimjer u aktuatorima autopilotskih uređaja, električnim vitlima i električnim invalidskim kolicima. Kvaliteta ovih motora očituje se i u različitim režimima u kojima oni redovito rade, tako ih se može naći da pogona pumpe hidrauličkih sistema kao i u preciznim postavima za laboratorijske eksperimente. U ponudi imaju elektromotore s četkicama koji koriste snažne permanentne magnete za statore kao i one bez četkica. Kako motore proizvode u malim serijama, broj dostupnih opcija je vrlo velik. Tako je primjerice moguće birati karakteristike motora prema kojima proizvođač provodi namatanje rotora, birati različite oblike izlaznih osovina te boje i završne premaze elektromotora. Osim motora proizvode i zupčaničke prijenosnike različitih prijenosnih omjera i opcija koji se mogu kombinirati sa elektromotorima iz njihova izbora.

Odabrana je kombinacija elektromotora s četkicama PM62 i dvostupanjskog prijenosnika s vratilom pod pravim kutom G34. Motori se mogu naručiti s rotorom namotanim za nazivne napone u rasponu od 12 do 180V, a maksimalne vrijednosti na izlaznom vratilu prijenosnika prikazane su unutar tablice u sklopu slike[Slika 22].



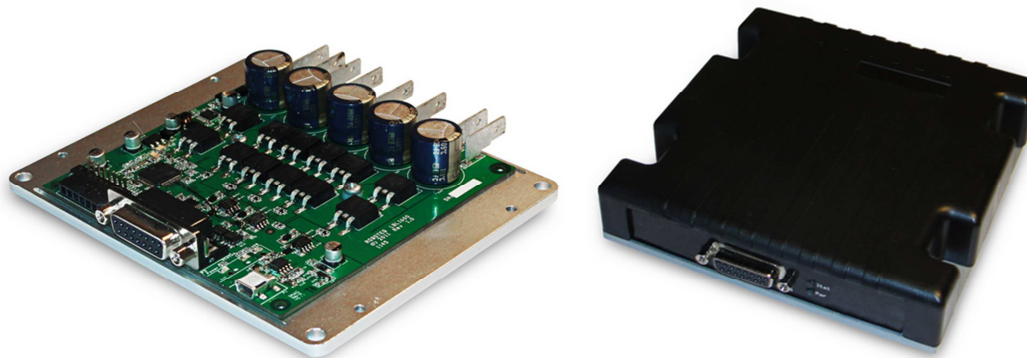
G34/PM62 Selection Table							MOTOR SPEED				
							2000	2500	3000	3500	4000
	RATIO	GEARBOX OUTPUT TORQUE [Nm]					GEARBOX OUTPUT SPEED [RPM]				
		A	B	C	D	E	1	2	3	4	5
R16	16:1	18.9	14.2	9.6	7.7	6.0	125	156	187	219	250
R20	20:1	23.6	17.7	12.0	9.6	7.5	100	125	150	175	200
R26	26:1	30.6	23.0	15.6	12.5	9.7	77	96	115	135	154
R29	29:1	34.2	25.6	17.4	14.0	10.8	69	86	103	121	138
R35	35:1	41.2	31.0	21.0	16.9	13.1	57	71	86	100	114
						PM62425	100	125	145	170	190
						PM62432	130	160	190	220	240
				PM62440			160	200	235	275	320
		PM62465					240	300	350	400	430
PM62490							320	400	450	500	500
MOTOR TYPE							OUTPUT POWER [WATTS]				

**Slika 22. Odabrana kombinacija elektromotora i prijenosnika**

Odabrana je kombinacija motora PM62490 i prijenosnika G34R29. Uz prijenosni omjer ugrađenog prijenosnika dobiva se 138 okretaja u minuti na izlaznoj osovini. Treba uzeti u obzir da specifikacije vrijede za trajni režim rada(S1). A u kraćim intervalima(manje od 5 minuta) ovaj motor može isporučiti i do 1300 W snage.

Za reguliranje struje koja se isporučuje odabranim pogonskim elektromotorima koristiti će se LDC2250C kontroler tvrtke RoboteQ. Ovaj svestrani kontroler omogućava kontrolu dva neovisna istosmjerna elektromotora napona do 50V uz trajnu struju vrijednosti 50A. Opremljen je sustavima za zaštitu od previsoke struje, oštećenja od prevelikog zagrijavanja i krivih signala na ulazu. Za ulazni signal može se koristiti analogan napon od 0 do 5 volti, pulsni signal korišten u aviomodelarstvu i signali dobiveni preko serijske veze korištenjem RS232 ili TTL protokola. U velikom broju funkcija za ovaj projekt su najzanimljivije mogućnost korištenja implementiranih PID algoritama za reguliranje brzine i miješanja ulaznih signala. Činjenica da su ove funkcije implementirane u sam kontroler znači da se otklanja potreba da te potprograme izvršava upravljačka jedinica automatizirane kosilice.

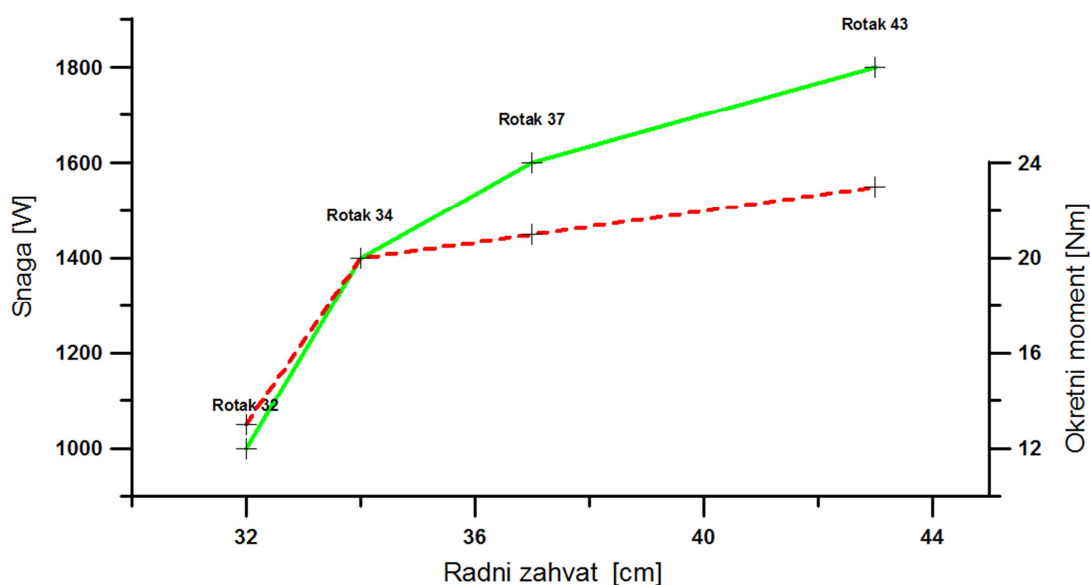
Spomenuto mješanje signala vrlo je praktično za diferencijalnu strukturu robota jer dopušta da jedan signal predstavlja pravocrtnu brzinu robota, a drugi kutnu brzinu oko centra rotacije.



Slika 23. RoboteQ LDC2250C

### 5.3.2. Izbor motora alata

U nedostatku literature koja bi opisivala postupak proračuna snaga potrebni za košnju trave, ili barem iznos otpora, potrebne karakteristike dobivene su analizom komercijalno dostupnih strojeva. Iako i u takvoj analizi treba biti oprezan, jer proizvođači često manipuliraju vrijednostima kako bi stekli prednost pred konkurentima. Takav pristup je doveo do sudskih tužbi 2010-e godine[21], tako da se u novije vrijeme najčešće koristi SAE J1940 standard za određivanje snage dvotaktnih motora sa unutranjim izgaranjem koji se najčešće koriste u motoriziranim kosilicama. Na slici[Slika 24]. prikazana je ovisnost snaga i momenta elektromotora o radnom zahvatu električnih kosilica iz ponude tvrtke Bosch[22].



Slika 24. Ovisnost snaga i momenta pogonskih motora o radnom zahvatu

Iz tog dijagrama može se interpolacijom dobiti odnos iz kojeg će se dobiti potrebne vrijednosti za bilo koji radni zahvat. Za radni zahvat od 56 cm dobivene su vrijednosti 2327 W i 26 Nm. Podatak o momentu potrebno je uzeti sa rezervom, pošto nigdje nije navedeno o kojem se točno momentu radi. Tako da je moguće da se radi i poteznom momentu, čija je vrijednost višestruko viša od nazivne.

Na temelju okvirnih karakteristika odabran je elektromotor EM0709 tvrtke Motenergy, Inc[23]. Ovaj istosmjerni električni motor komutaciju ostvaruje mehanički preko četkica, a magnetsko polje statora proizvodi se pomoću permanentnih magneta. Korištenje magneta umjesto serijski spojenih namotaja znatno povećava iskoristivost. Ovi motori podržavaju napone do 72V, te omogućavaju isporuku do 7 kW mehaničke snage u trajnom režimu rada. Koriste se kao manevarski propulzori brodova, vučni motori avio jedrilica i pogon električnih vozila. Otvorene su konstrukcije i hlade se uz pomoć ventilatora namontiranih na pogonsko vratilo.



**Slika 25. Elektromotor EM0709**

Pošto nije potrebna veća snaga, radna točka elektromotora alata održavati će se pri 2500W. U toj točki ovaj elektromotor pri naponu od 48V prema tvorničkim dijagramima isporučuje 10,17 Nm uz potražnju struje jakosti 57 ampera. Brzina vrtnje u odabranoj radnoj točki je približno 2200 okretaja u minuti, što odgovara brzinama vrtnje motora usporedivih kosilica.

Za kontrolu elektromotora alata koristit će se AXE 4834 kontroler tvrtke Alltrax. Ovaj kontroler namijenjen je za napone od 24 do 48 volti i u trajnom režimu može isporučiti 135 ampera. U kraćim intervalima može podržati i znatno više struje, primjerice 300A u testnom



režimu trajanja 2 minute. Kao ulazni signal može se koristiti istosmjerni napon raspona od 0 do 5 volti. Kontroler podržava rad u sva četiri kvadranta, što se može iskoristiti za brzo zaustavljanje sječiva kosilice u hitnim slučajevima. Ovaj kontroler također sadrži mikroprocesor koji dopušta funkcije poput ograničenja struje, napona i brzine. Ove funkcije dostupne su nakon umrežavanja s računalom preko RS232 protokola, što nadalje daje nove mogućnosti upravljanja i nadziranja rada kontrolera.



**Slika 26. Kućište Alltrax Axe serije kontrolera istosmjernih elektromotora**

### **5.3.3. Izvor električne energije**

Kako bi stroj ostvario zahtjeve mobilnosti, potrebno je odabrati mobilan izvor električne energije. U generalnom slučaju otvorena je mogućnost ugradnje generatora struje pogonjenog motorom sa unutarnjim izgaranjem. Ova opcija je pogotovo zanimljiva u slučaju da se platforma koristi u sklopu sa komercijalnim motoriziranim alatima. U tom slučaju je moguće izvesti prigon od pogonskog vratila alata do generatora. Za generatore se mogu koristiti široko dostupni alternatori za osobna ili teretna vozila koji u kompaktnom kućištu daju reguliranu struju napona 12 ili 24V ovisno o izvedbi i jakosti struje od nekoliko desetaka pa do čak i preko stotinu ampera. U ovom projektu je ipak zadano ograničenje u vidu korištenja isključivo električne energije, kako zbog smanjenja buke, tako i zbog veće iskoristivosti električnih motora. Zbog toga je potrebno koristiti akumulatorske baterije za izvor napajanja. U tu svrhu u nedostatku drugih opcija mogu se koristiti i automobilske baterije. Ipak treba uzeti u obzir njihovu veliku težinu u odnosu na kapacitet te opasnost od izlivanja kiseline koja služi kao elektrolit.

Puno bolji izbor su SLA(eng. *sealed lead acid* – *hermetičke olovne baterije*) baterije kod njih je elektrolit hermetički zatvoren i još zgusnut u konzistenciju gela. Dolaze u raznim



kapacitetima koji ovise o obliku čelija. Nazivna vrijednost kapaciteta vrijedi samo za uvjete određene standardom, u većini slučajeva on je određen za struje pražnjenja koje će bateriju isprazniti kroz 10 ili 20 sati, ovisno o normi po kojoj je vršeno ispitivanje.

Kako je potrebno masu platforme održavati što manjom, mogu se iskoristiti i baterije bazirane na litij-željezo-fosfatnim ( $\text{LiFePO}_4$ ) člancima. Ova tehnologija daje puno veću energetska gustoću, što znači da za isti kapacitet imaju manju težinu. Za razliku od gore navedenih akumulatora, moguće ih je nabaviti i u obliku pojedinih članaka. U tom slučaju potrebno je ugraditi i sustav za reguliranje stanja napunjenosti svakog članka. Prednost takvog načina slaganja baterije je mogućnosti proizvoljnog prostornog rasporeda, pa tako i utjecanje na centar mase robotske platforme. Mana im je prilično visoka cijena u odnosu na ostale tehnologije.



a)



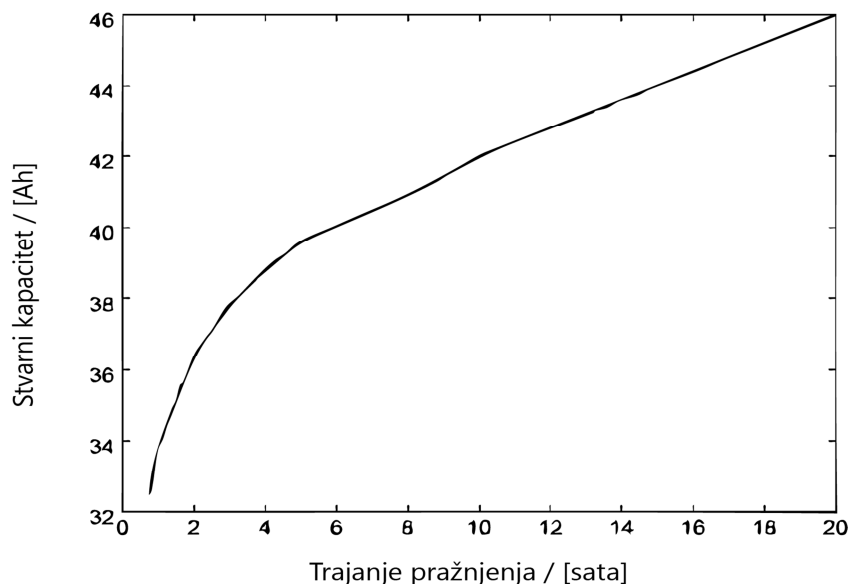
b)

**Slika 27. a) hermetička olovna baterija FIAMM 12v 12Ah**

**a)  $\text{LiFePO}_4$  članci spojeni u bateriju 36V 10Ah**

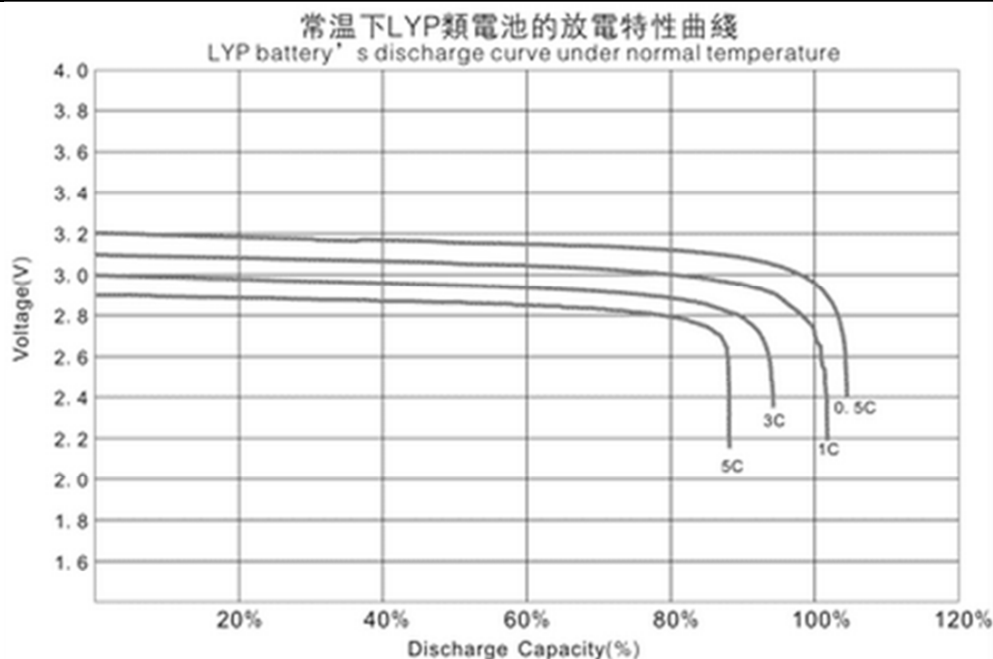
Iz odabranih radnih točki elektromotora može se predvidjeti njihova potražnja struje, koja iznosi 72,4 ampera. Upravljački sustavi, kao i senzori zahtijevaju u pravilu vrlo male struje, ali može se sigurnosti radi predvidjeti njihova ukupna potražnja od 5A. Željena energetska autonomija platforme je 60 minuta, pri čemu treba poštovati i radne cikluse spojenih motoriziranih alata. Pri izboru kapaciteta treba imati na umu da nazivni kapacitet vrijedi samo za određene struje pražnjenja. Tako je spomenuto da je za olovne baterije kapacitet zadan za struje pražnjenja 10 ili 20 puta manje od one navedene u kapacitetu (npr. 1C ili 20A za bateriju od 20Ah). Dok u slučaju pražnjenja trajanja od oko jednog sata kao što je zadano za ovu platformu kapacitet pada na otprilike 70% nazivnog. Ovaj efekt posljedica je kemijskih

procesa unutar članaka baterije, i znatno je manje izražen kod članaka baziranih na litij-željezo-fosfatnoj tehnologiji. Pri izboru kapaciteta baterija treba uzeti u obzir i mogućnost priključenja dodatnih aktuatora kao i njihovu potrošnju.



**Slika 28. Dijagram stvarnog kapaciteta za suhe olovne baterije kapaciteta 42 Ah**

Zbog navedenih karakteristika možemo zaključiti da bi uz predviđene struje bilo potrebno koristiti olovne baterije iznimno visokih kapaciteta, koje su vrlo teške i zauzimaju veliki prostorni volumen. U ovom slučaju su se dakle puno boljim izborom pokazale LiFePO<sub>4</sub> baterije. Zbog mogućnosti korištenja puno manjih kapaciteta i razlika u cijeni baterijskih sustava baziranih na ovoj tehnologiji i SLA tehnologiji u ovom slučaju nije značajna, pogotovo ako se u obzir uzmu ostale prednosti. Koristiti će se baterijski članci iz ponude tvrtke Winston Battery[24] koje je na tržištu još uvijek moguće naći i pod bivšim imenom branda Thundersky. Na slici [Slika 29] prikazana je superiornost ove tehnologije u odnosu na SLA baterije u smislu mogućnosti davanja visokih struja. Pri potražnji struje od 1C one garantirano daju nazivni kapacitet, a daljnjim povećanjem struje kapacitet se tek neznatno smanjuje. Treba uzeti u obzir da se životni vijek baterija može udvostručiti ako se tijekom uporabe pazi da dubina pražnjenja ne prelazi 70%. Slična ograničenja stavljaju se i na SLA baterije, za koje preporuke ovise o izvedbi te je uglavnom potrebna veća kontrola nad dubinom pražnjenja.



Slika 29. Dijagram stvarnog kapaciteta za LiFePO<sub>4</sub> članke tvrtke Winston battery[24]

Kako svi elektromotori korišteni u dosadašnjoj konstrukciji podržavaju napone do 72V, potrebno je usporediti baterijske sustave različitih napona. Naime, zbog manje potražnje struje pri višim naponima postoji mogućnost korištenja članaka manjeg kapaciteta, koji su ujedno i lakši, jeftiniji te zauzimaju manje prostornog volumena, ali je potrebno uzeti više članaka kako bi se dobio željeni napon.

Tablica 5. Usporedba baterijskih konfiguracija

Napon [V]	48	48	72
Potrošnja struje [A]:			
Pogonskih motora	20,83333	20,83333	13,88889
Motor alata	57	57	43
Elektronika	5	5	5
Ukupno:	82,83333	82,83333	61,88889
Kapacitet članaka [Ah]	90	100	60
Broj članaka:	15	15	22
Težina članka[kg/kom]:	3	3,5	2,3
Volumen članka[cm <sup>3</sup> /kom]:	19	23,8	14
Cijena članka[€/kom]:	126	145	87
Ukupna težina[kg]:	45	52,5	50,6
Ukupni volumen[cm <sup>3</sup> ]:	285	357	308
Ukupna cijena[€]:	1890	2175	1914

Pokazalo se da je sustav napona 48V i nazivnog kapaciteta 90Ah najisplativiji, a osim toga, zbog većeg kapaciteta smanjena je dubina pražnjena u odnosu na sustav napona 72V. Dubina pražnjenja u ovom slučaju dobivena je pojednostavljenim proračunom:

$$DoD = \frac{C_{pot}}{C_p} = \frac{82,834}{92} = 90,03\% \quad (4)$$

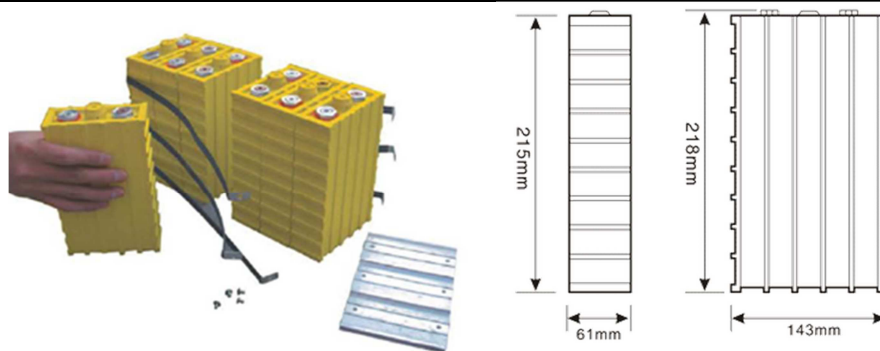
$C_{pot}$  = predviđena potrošnja – 82,834 [Ah],

$C_p$  = korigirani kapacitet baterija – 92 [Ah],

$DoD$  = eng. *depth of discharge* – dubina pražnjenja [%].

Treba uzeti u obzir da su baterije odabrane na pretpostavci da će tijekom rada motor alata cijelo vrijeme biti u pogonu, i da će se stroj kretati maksimalnom brzinom. To je najnepovoljniji slučaj, te se u realnim situacijama može očekivati značajno veća energetska autonomija, te manje dubine pražnjenja.

Za ispravan rad baterija potrebno ih je ispravno montirati i koristiti spomenuti sustav za kontroliranje stanja napunjenosti i zaštitu članaka (*BMS*, eng. *battery management system* – sustav za upravljanje baterijama). Međusobno pričvršćivanje članaka ostvareno je steznim elementima koje proizvođač nudi kao dodatnu opremu. Ovi elementi prilagođeni su geometrijskom obliku članaka i osiguravaju ih od bubrenja, koje bi eventualno moglo dovesti do kidanja vanjske polimerne oplate. Do bubrenja može doći prilikom isporuke vrlo velikih struja, kao primjerice u kratkom spoju. Posljedica kidanja vanjskog polimernog omotača je oslobađanje velike količine kisika, a uz visoke temperature razvijane tijekom isporuke visokih struja to neizbježno dovodi do požara. Uz korištenje spomenutih aktivnih (*BMS*) i pasivnih mjera (stezni elementi, pravilna orijentacija članaka) ovakva opasnost je gotovo u potpunosti otklonjena. Potrebno je još eventualno zaštititi članke od mogućnosti prodora stranog tijela.



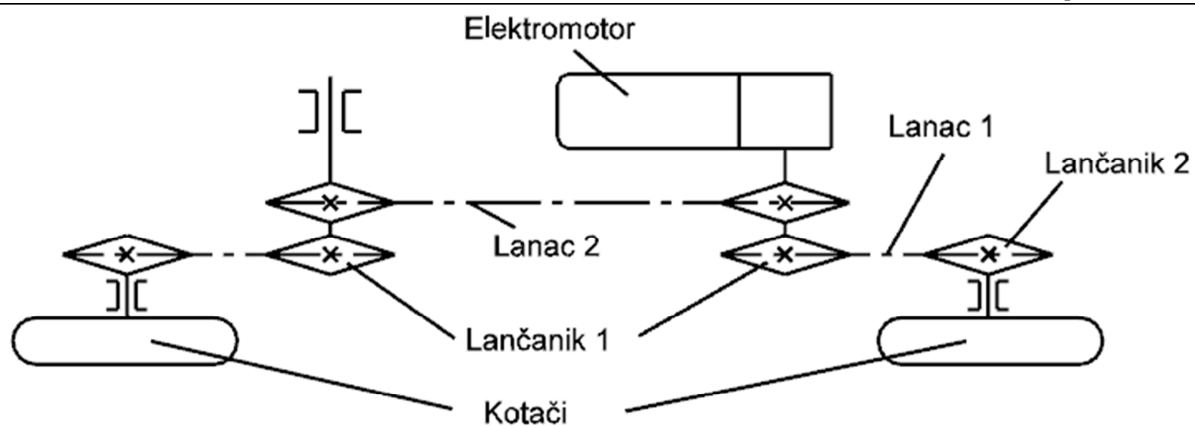
**Slika 30. Stezni elementi članaka i dimenzije pojedinog članka [24]**

Za punjenje baterija potrebno je odabrati adekvatan punjač. Pri tome se treba pridržavati uputa proizvođača baterija. U praksi je dovoljno iskoristiti izvor napajanja čiji napon je jednak naponu baterije u stanju najveće napunjenosti i koji može isporučiti struju punjenja manju ili jednaku onoj navedenoj od proizvođača baterija. Ipak, preporučljivo je investirati u specijalizirane punjače koji slijede preporučene cikluse punjenja baterija i uz to imaju i dodatne funkcije za održavanje i praćenje stanja baterija.

## 5.4. Izbor prijenosnika

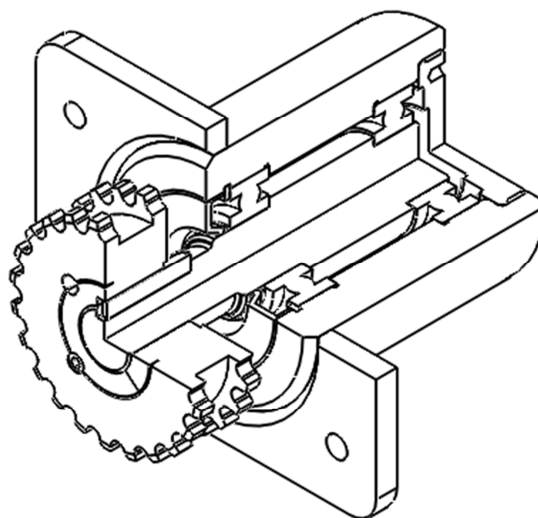
### 5.4.1. Prijenosnici pogona

Iako zbog specifikacija odabranih pogonskih elektromotora postoji opcija njihovog direktnog spajanja na kotač, ali zbog veće fleksibilnosti u dizajniranju i drugih prednosti koristit će se lančani prijenosnici. Naime, zbog postizanja boljih terenskih svojstava predviđen je prijenos momenta na sva 4 kotača. Takav pogon ostvarit će se montiranjem dvostrukih simplex lančanika na motore, čime je omogućen istodoban prijenos momenta na dva izlazna lančanika. Zamišljeni raspored lančanika omogućuje smještaj lanaca iznad radnog zahvata i otvora za izbacivanje otpadaka trave alata. Raspored svih lančanika je uz to simetričan na vertikalnu poprečnu ravninu, što omogućava fleksibilnost u raspoređivanju elektromotora i sekundarnog lančanika. Kako kućište vratila gonjenog lančanika koristi identičan raspored rupa i promjer vratila kao sklop pogonskog elektromotora, postoji i mogućnost jednostavnog i brzog montiranja dva elektromotora na jednu stranu robota. Zbog visoke cijene korištenih elektromotora to za zamišljenu uporabu nije ekonomski opravdano, ali se potreba za većom snagom može ukazati u slučaju korištenja platforme za obavljanje drugih zadataka.

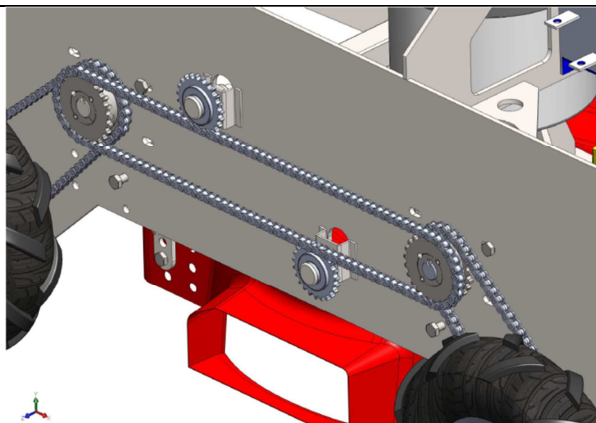


**Slika 31. Shematski prikaz rasporeda lančanika**

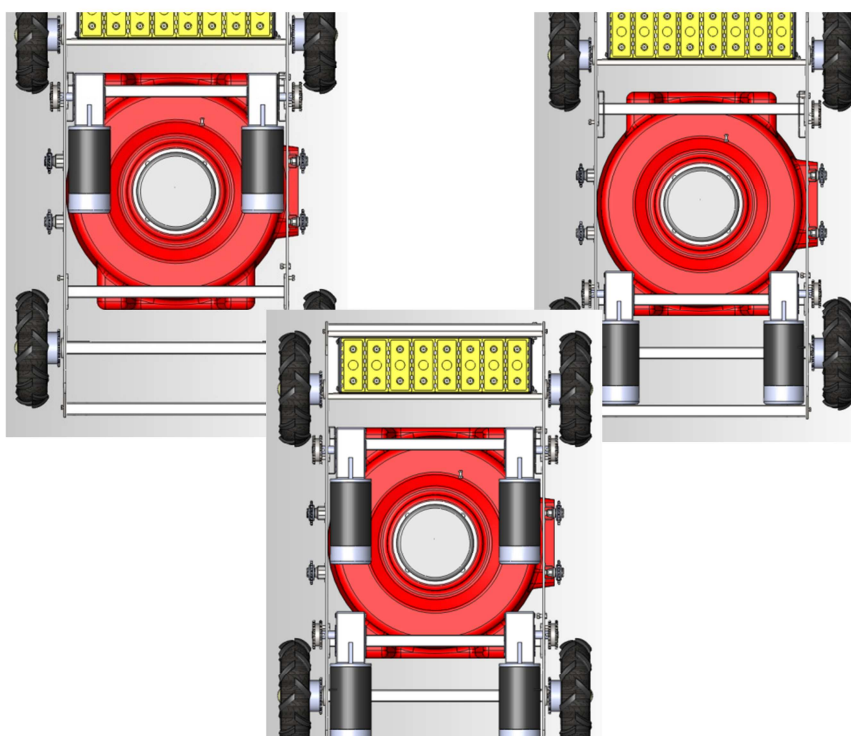
Konstrukcijom će biti omogućen ograničen linearni pomak sklopa elektromotora i sekundarnog lančanika, kako bi se olakšala montaža i omogućilo servisno zatezanje lanaca nakon duljeg razdoblja uporabe. Radi smanjenja vibracija srednjeg lanca i osiguravanja kvalitetnog prijenosa u oba smjera, ugradit će se dva zatezna lančanika.



**Slika 32. Presjek sekundarnog lančanika**



Slika 33. Konstrukcija lančanog prijenosa



Slika 34. Različite mogućnosti smještaja pogonskih elektromotora

Broj okretaja sa izlaznog vratila prijenosnika potrebno je smanjiti na vrijednost koja odgovara željenoj brzini kotača, a koja se može izračunati iz željene brzine kretanja uređaja.

$$\omega_k = \frac{v}{r} = \frac{1,38}{0,15} = 9,253 \quad (5)$$

$$\omega_{izl} = \frac{n \cdot \pi}{30} = \frac{114 \cdot \pi}{30} = 11,932 \quad (6)$$

$$i = \frac{\omega_{izl}}{\omega_k} = 1,29 \quad (7)$$

- $v$  = željena brzina gibanja robota – 1,38 [m/s]  
 $r$  = polumjer kotača – 150 [mm]  
 $n$  = broj okretaja izlaznog vratila prijenosnika elektromotora – 114 [min<sup>-1</sup>]  
 $\omega_k$  = kutna brzina kotača [rad/s]  
 $\omega_{izl}$  = kutna brzina vratila prijenosnika elektromotora [rad/s]  
 $i$  = prijenosni omjer

Korištenjem tablica iz literature odabrani su lančanici sa brojevima zubi 30 i 23, čime se dobiva prijenosni omjer:

$$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{30}{23} = 1,304 \quad (8)$$

Zatim je potrebno odrediti dimenzije lanca korištenjem formule te tablica iz literature[2]:

$$P_D = \frac{P}{m \cdot k} = \frac{0,5}{1 \cdot 0,87} = 0,49 \text{ kW} \quad (9)$$

- $P$  = snaga elektromotora – 0,5 [W],  
 $m$  = faktor nošenja lanca – 1,  
 $k$  = faktor snage – 0,87 prema tablici u [2],  
 $P_d$  = reducirana udarna snaga [kW].

Na temelju čega je odabran valjkasti lanac broja 06 B po DIN 8187 normi. Sada je moguće izračunati stvaran razmak osi lančanika na temelju približnih vrijednosti razmaka.

$$X_1 = \frac{2a'_1}{p} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \left( \frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2 \frac{p}{a'_1} = 72,742 \quad (10)$$

*Odabrano: 73 članaka*

$$X_2 = \frac{2a'_2}{p} + z_1 + \frac{p}{a'_2} = 133,783$$

*Odabrano: 134 članaka*

$$a_1 = \frac{p}{8} \left( 2X_1 - z_1 - z_2 + \sqrt{(2X_1 - z_1 - z_2)^2 - f(z_2 - z_1)^2} \right) \quad (11)$$

$$a = 221,201 \text{ mm}$$



$$a_2 = \frac{p}{8} \left( 2X_2 - 2z_1 + \sqrt{(2X_2 - 2z_1)^2} \right)$$

$$a = 481 \text{ mm}$$

- $a'_1$  = približna vrijednost razmaka osi lančanika za lanac 1 -220 [mm],  
 $a'_2$  = približna vrijednost razmaka osi lančanika za lanac 2 -480 [mm],  
 $p$  = korak lanca – 9,525 [mm],  
 $z_1$  = broj zubaca lančanika 1 - 23,  
 $z_2$  = broj zubaca lančanika 2 - 30,  
 $X_1$  = broj članaka lanca 1,  
 $X_{21}$  = broj članaka lanca 2,  
 $a_1$  = stvarni razmak osi lančanika za lanac 1 [mm],  
 $a_2$  = stvarni razmak osi lančanika za lanac 2 [mm],  
 $f$  = proračunski faktor prema [2].

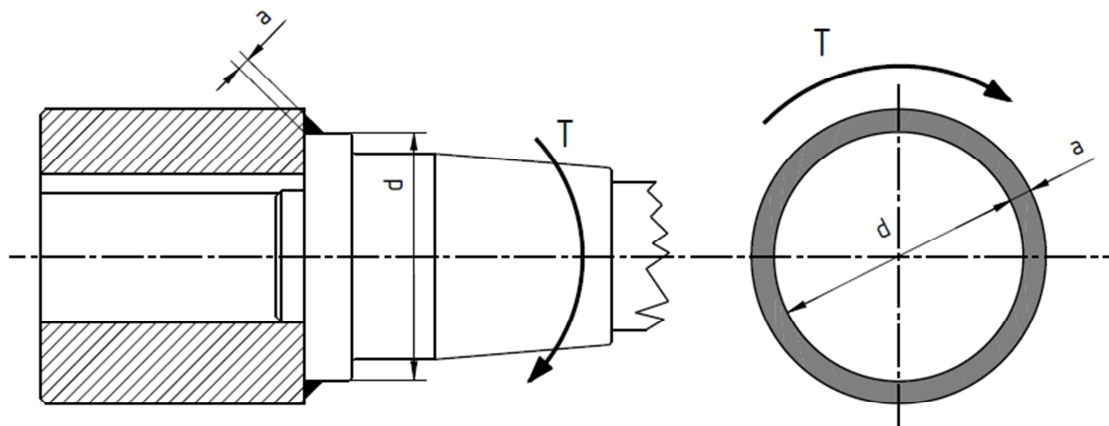
Potrebno je još provjeriti brzinu lanaca:

$$v = d_1 \cdot \pi \cdot n_1 = d_2 \cdot \pi \cdot n_2 = 2,505 \text{ m/s} \quad (12)$$

- $d_1, d_2$  = promjer diobene kružnice lančanika 1 – 0,006995 [m],  
 $n_1$  = broj okretaja lančanika 1 [ $\text{min}^{-1}$ ],  
 $v$  = brzina lanca.

#### 5.4.2. Vratilo alata

Kako elektromotor alata ima performanse koje dopuštaju direktni pogon alata sa vratila, bilo je potrebno pronaći jeftin i jednostavan način prenašanja momenta na sječivo. U tu svrhu konstruirano je vratilo i pripadajuće mu kućište ležaja koje je zavareno u sklopu sa nosačem elektromotora. Samo vratilo sastoji se od dva međusobno zavarena dijela. Na taj način je olakšana obrada odvajanjem čestica pojedinih dijelova. Tako je utor za pero korištenjem ovog pristupa moguće izraditi i elektroerozijskom obradom žicom ili iglom za provlačenje. Osim toga, za izradu glavnog dijela vratila na ovaj način se može koristiti čelična šipka manjeg promjera, čime je ostvarena znatna ušteda u materijalu i vremenu obrade. Radi sigurnosti, potrebno je provjeriti čvrstoću zavora.



Slika 35. Opterećenje zavora vratila

$$\tau_{||} = \frac{2T}{d} \frac{1}{[(d+a)^2 + d^2]\pi} = 3,083 \text{ N/mm}^2 \quad (13)$$

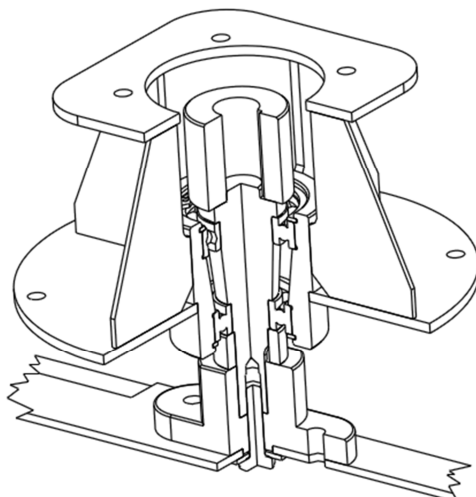
$$\tau_{||} \leq \tau_{dop} \quad (14)$$

Zadovoljava, uz faktor sigurnosti:

$$S = \frac{\tau_{dop}}{\tau_{||}} = 16,21 \quad (15)$$

- $T$  = okretni moment na vratilu – 10,17 [Nm],  
 $d$  = promjer zavora – 42 [mm],  
 $a$  = dimenzija zavora – 3 [mm]  
 $\tau_{dop}$  = dopušteno naprezanje prema tablici u [2] (St 50, Kvaliteta III) – 50 [N/mm<sup>2</sup>],  
 $\tau_{||}$  = smično opterećenje zavora - [N/mm<sup>2</sup>],  
 $S$  = faktor sigurnosti.

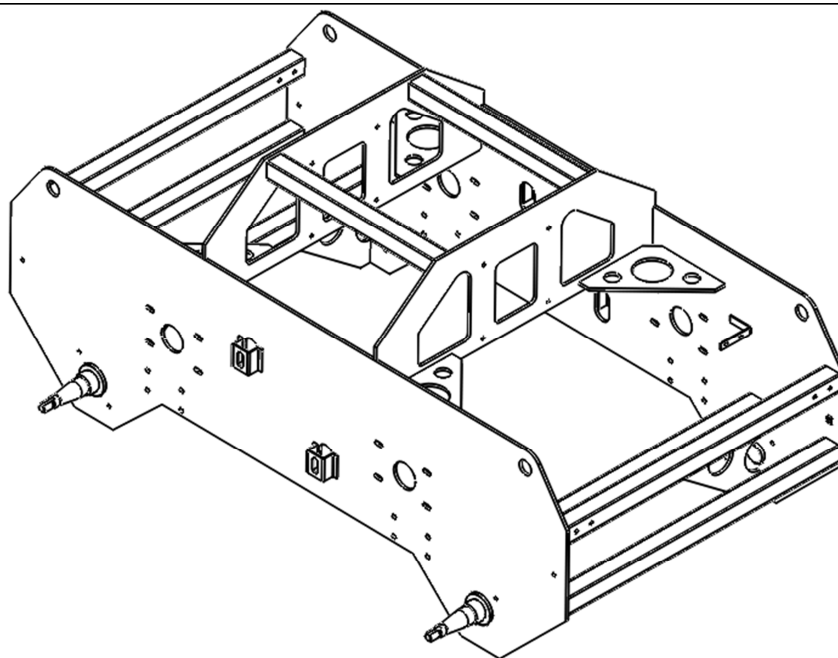
Vratilo je uležišteno pomoću standardnih ležaja sa jednom brtvenom ploćom. Tijekom montaže potrebno je voditi računa o orijentaciji brtvenih ploća i ispuniti kućište mašću za ležajeve korištenjem mazalice. Za pričvršćivanje sječiva koristiti će se standardni dio koji dopušta brzu izmjenu komercijalno dostupnih sječiva.



**Slika 36. Sklop vratila alata**

### **5.5. Šasija**

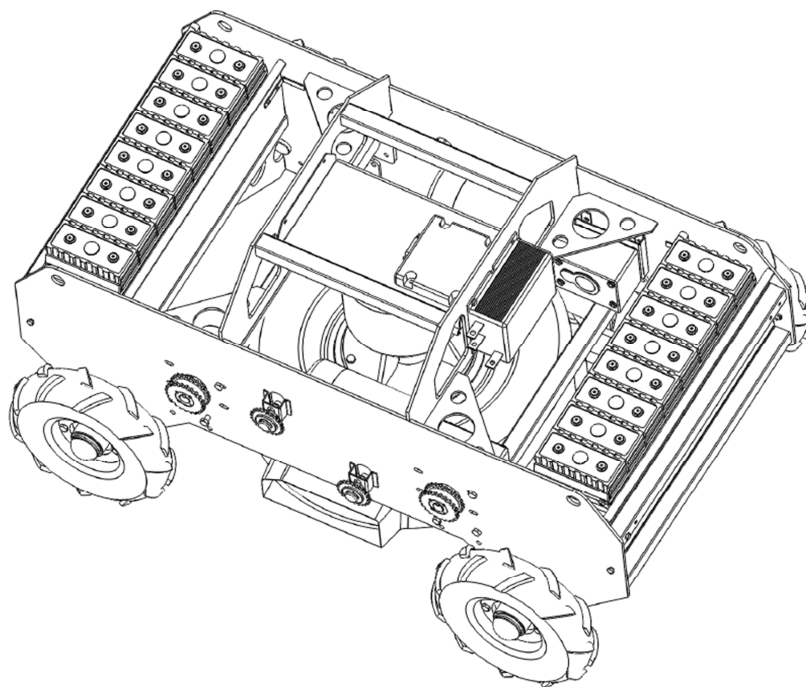
Šasija uređaja izrađena je međusobnim zavarivanjem kockastih čeličnih cijevi dimenzije stranice 30 mm i debljine 1,5 mm te izrezaka od lima debljine 5 mm. Limeni dijelovi sadržavaju izrezane montažne rupe za ostale dijelove sklopa, a predviđeno ih je izrezivati CNC vodenim plamenim, plazmenim ili laserskim rezačima. Moguće je na CNC strojevima izrezati i samo šablone koje se mogu koristiti za vođenje ručnih plamenih ili plazmenih rezača. Osim osnovnih dijelova, u sklopu su zavareni i dijelovi koji služe za montažu ostalih sklopova. Ukupna predviđena težina korištenih dijelova je 44,45 kg, uključujući predviđenu masu zavara.



**Slika 37. Izgled šasije automatske robotizirane kosilice**

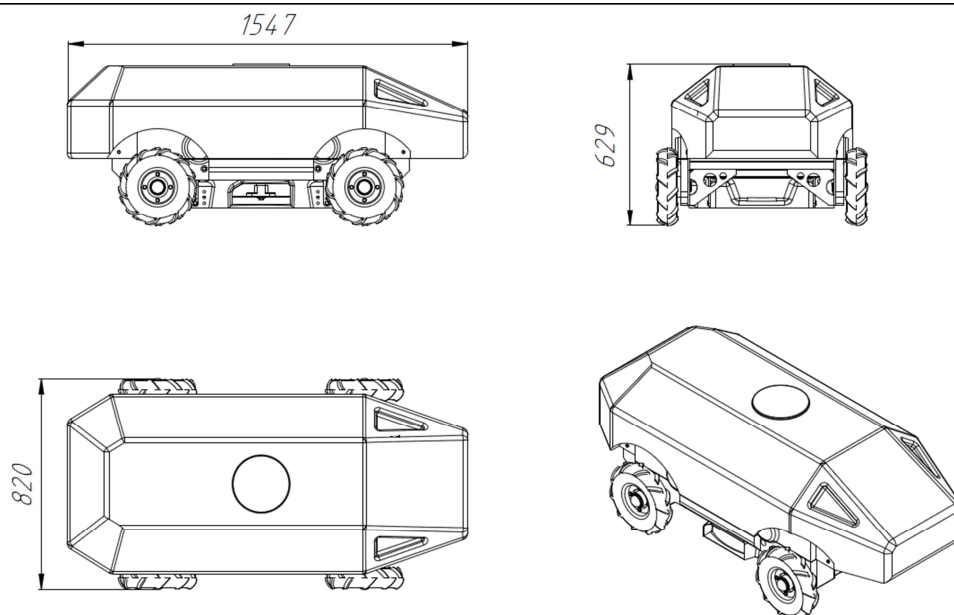
### **5.6. Sklop automatske robotizirane kosilice**

Na slici[Slika 38] prikazan je osnovan razmještaj komponenti unutar sklopljenog uređaja. Baterije, koji predstavljaju najveću koncentraciju težine su smještene na što je moguće nižu točku unutar konstrukcije. Također su smještene blizu osi kotača, tako im je osigurano dobro prijanjanje u svim situacijama. Elektronički dijelovi smješteni su na posebnu platformu izređenu od savijanog lima koja sa vijcima pričvršćuje na visoku točku konstrukcije.



**Slika 38. Razmještaj komponenti u gotovom sklopu**

Zbog dodatne zaštite dijelova pružanja vizualnog identiteta uređaju konstruiran je pokrov izrađen od ABS(akrilonitril butadien stiren) polimernog materijal. Ovaj pokrov se sastoji od 3 različita dijela, kako bi se olakšala montaža, ali i njegova izrada. Glavni dio pokrova se na šasiju pričvršćuje pomoću 4 vijka dimenzije M6. Uz to se na nekoliko mjesta oslanja na šasiju preko rebara za ukrućenje. Bočni dijelovi pokrova služe za zaštitu lančanika i lanaca od izloženosti prašini i stranim predmetima. Tako je na primjer spriječeno zahvaćanje trave koja bi se zatim namatala oko glavine i lančanika, i eventualno uzrokovala smetnje u zahvatu lanaca.



**Slika 39. Osnovne dimenzije i prostorni prikaz automatske robotizirane kosilice**

Na slici [Slika 39] prikazane su osnovne dimenzije sklopljenog uređaja. One ne odstupaju značajno od dimenzija standardizirane drvene palete, tako da je osigurana mogućnost transporta teretnim vozilima i prikolicama. Ukupna težina sklopa je 187 kilograma, što značajno premašuje predviđenu vrijednost. To će uzrokovati smanjenje maksimalnog nagiba uspinjanja koji uređaj može savladati. Ponovljenim proračunima iz poglavlja 5.3.1. ustanovljen je maksimalan savladivi nagib od  $12^\circ$ . Do željenih vrijednosti moguće je doći korištenjem 4 pogonskih motora, što je i omogućeno dizajnom lančanog prijenosa, ali prethodno je potrebno odrediti ekonomsku isplativost, pošto navedeni motori čine velik dio ukupnog troška dijelova.

## 6. UPRAVLJAČKI SUSTAV

Tokom 2012.-e godine izrađen je prototip modularne robotske platforme za prihvat gurajućih alata. U sklopu rada izrađen je teleoperatorski upravljački sustav koji je koristio komercijalni radio upravljač i prijemnik. Ovakav sustav mogao bi se upotrijebiti i za uređaj opisanu u ovom radu. U daljnjem tijeku poglavlja biti će opisani i osnovni principi koji se mogu primijeniti i na povezivanje sa ostalim upravljačkim jedinicama.

### 6.1. Mikrokontroler

Za upravljanje radom motora korišten je mikrokontroler Atmega168 iz serije 8-bitnih mikrokontrolera tvrtke Atmel. Ovaj model predstavlja dobar kompromis između cijene i funkcija. Uz to, kompatibilan je sa velikim brojem ostalih mikrokontrolera iz serije, kako po imenima registara, tako i po rasporedu izvoda na fizičkom kućištu. Sve to omogućuje da se nakon uspostavljanja konačnih zahtjeva za robotsku platformu odabere najprikladniji kompatibilni čip, za koji se zatim može koristiti identičan program i tiskana pločica.

**Tablica 6. Specifikacije mikrokontrolera iz asortimana tvrtke Atmel**

	Atmega8	Atmega168	Atmega32
<b>Flash memorija(Kbita)</b>	8	16	32
<b>Maksimalna frekvencija(Mhz)</b>	16	20	16
<b>Ulazno/izlaznih pinova</b>	23	23	32
<b>Vanjskih interrupt komandi</b>	2	24	3
<b>ADC kanal</b>	8	8	8
<b>PWM kanala</b>	3	6	4
<b>EEPROM memorija(bit)</b>	512	512	1024
<b>Broj timera</b>	3	3	3
<b>Serijska veza:</b>			
<b>SPI</b>	1	2	1
<b>UART</b>	1	1	1
<b>I2C</b>	1	1	1

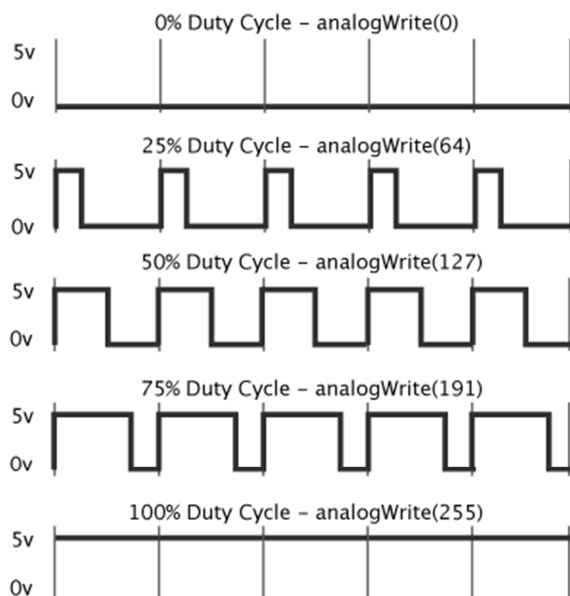
Ovisno o kompliciranosti zamišljenog upravljačkog algoritma, moguće je serijskom vezom spojiti više mikroprocesora. Pri tome jedan može služiti samo upravljanju motorima, a drugi očitavanju senzora i slanju upravljačkih signala.

Uz mikroprocesorsko upravljanje električnim motorima neizbježno se spominju dva pojma; pulsno širinska modulacija i H-most.

## 6.2. Pulsno širinska modulacija

Pulsno širinska modulacija je način dobivanja analognog signala iz digitalnog. To se postiže tako da digitalnom signalu fiksne frekvencije mijenjamo faktor popunjenosti. Dakle, mijenja se omjer između vremena uključenosti i isključenosti. Ako je trajanje jednog ciklusa manje od vremenske konstante nekog sustava sa inercijskom dinamikom (npr. RC krug, zalet elektromotora), na izlazu će se dobiti neka vrijednost između dvije krajnosti digitalnog signala.

Atmelov mikroprocesor korišten u prototipu ima ugrađene vremenske sklopove i potprogram za dobivanje pulsno širinskog signala. Potrebno je samo namjestiti postavke u inicijalizaciji programa i zatim upisivati željene vrijednosti faktora popunjenosti. Te vrijednosti upisuju se u jedan od registara mikrokontrolera rezerviranih specifično za tu uporabu. U ovoj izvedbi koju ja koristim mogu se koristiti registri od veličina od 8 do 10 bita. Koje biramo po preciznosti koju želimo postići. Za ovu uporabu sasvim je dovoljna preciznost od 8 bita čime je moguće ostvariti 256 različitih postavki brzina.



Slika 40. Objašnjenje pulsno širinske modulacije



### 6.3. Radio kontrola

Radio kontrolu moguće je uspostaviti preko radio kontrolera kakvi se koriste u avio i automodelarstvu. U spomenutom prototipu iskorištena je radio stanica Futaba 4EX i prijemnik Futaba R136F. Stanica ima 4 kanala, što znači da se može upravljati sa 4 aktuatora. Svaki kanal ima svoj izlaz na prijemniku, na njima se može očitati jedan širinski moduliran signal gdje širina pulseva daje podatak o poziciji palice na radiostanici. Frekvencije signala su najčešće između 50 i 400Hz, a trajanje pulseva od 0,9 do 2,1 ms, dok 1,5ms označava neutralnu poziciju kontrolne palice. Dakle ako želimo sa jednom palicom kontrolirati brzinu i smjer motora, trebamo izmjeriti trajanje impulsa i odrediti jeli trajanje veće ili manje od neutralne pozicije i promjeniti brzinu motora skladno razlici između mjerene i neutralne pozicije.

Zbog toga je bilo potrebno postaviti jedan zaseban timer koji treba imati dovoljno veliku rezoluciju da u trajanju od 0,5ms koliko ima od neutralne pozicije do svake krajnosti izmjeri bar 256 promjena kako bi mogli maksimalno iskoristiti registar pulsno širinske modulacije s kojim reguliramo brzinu motora. U ovom slučaju postavljen je timer koji mjeri mikrosekunde, moguće je dakle dobiti skoro dvostruku rezoluciju.

Izlazi prijemnika spojeni su na pinove mikrokontrolera i izrađen je program koji u slučaju promjene na jednom od tih pinova provjerava u kojem stanju se trenutno nalazi taj ulaz. Dakle, provjerava jeli u logičkoj nuli ili jedinici i po tome zaključuje jeli to početak pulsa ili kraj. Ako je početak pulsa, tada samo resetira timer, i izlazi iz potprograma, kako bi se po potrebi mogle izvršavati druge operacije unutar glavnog programa. Kada dođe do druge promjene na kraju signala program očitava vrijednost u kojoj je zateknuto brojiilo timera i zatim je jednom jednostavnom matematičkom formulom pretvara u vrijednost između 0 i 255 koja sa upisuje u registar, a određuje i smjer motora. Ova pretvorba opisana je sljedećim kôdom:

```
if ( 2100-TCNT1<590 )
{
    OCR0B=( ( TCNT1-1500 ) *10 ) / 25 ;
    PORTB &= 0b10111111;
    PORTB |= 0b10000000;
}
```

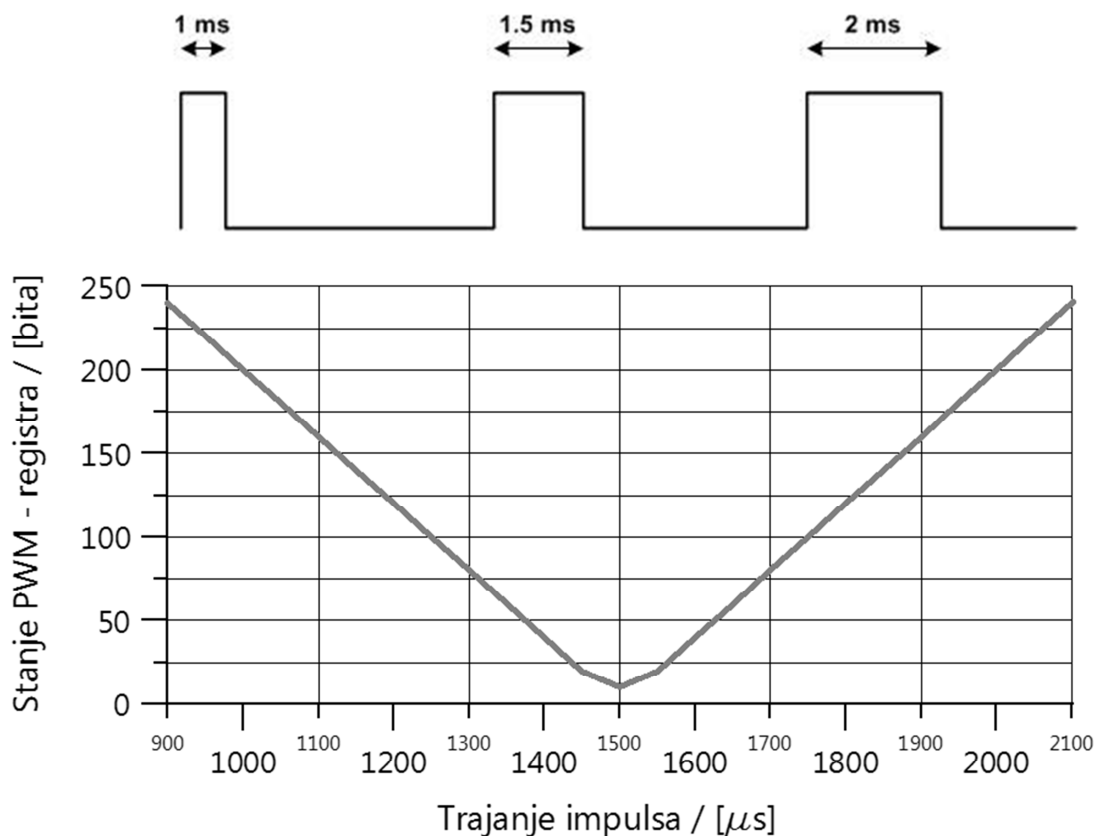
```

else if (2100-TCNT1 >= 610)
{
    OCR0B = ((1500-TCNT1)*10)/25;
    PORTB &= 0b01111111;
    PORTB |= 0b01000000;
}

else {OCR0B=10;}

```

Zadanim kôdom još je onemogućeno da vrijednost PWM signala uđe u jednu od krajnosti (0%, 100%), koje bi mogle naštetiti sklopovlju h-mosta. Oblik signala dobivenog na prijemniku i njegova pretvorba u vrijednost registra PWM – signala prikazani su na slici [Slika 41].



**Slika 41. Oblik signala prijemnika i pretvorba u vrijednost PWM-signal**

Još jedan problem u ovom kôdu predstavlja opasnost od gubitka radio signala. U tom slučaju neće doći do promjene registra PWM-signal jer ne dolazi do promjena na ulazima mikrokontrolera koje bi pokrenule interrupt rutinu. U tom slučaju PWM signal se ne mijenja do ponovne uspostave radio veze. Ovo je pogotovo opasno ako se gubitak signala dogodi dok

je PWM signal u jednoj od svojih krajnjih vrijednosti. Čak u slučaju da je palica radio stanice u neutralnoj poziciji, može se dogoditi da do prekida signala dođe prije nego što vremensko brojilo mikrokontrolera uspije odbrojiti 1,5 ms. U tom slučaju će se jedan od motora zavrtiti brzinom određenom trajanjem koje je mikrokontroler uspio izmjeriti do gubitka signala, što može iznenaditi operatera, ili se čak dogoditi dok je stanica odložena. U tu svrhu se u pravilu ostvaruje vremenski sklop ili potpogram za kontrolu izvođenje programa ili takozvani watch-dog timer. Radi se o vremenskom brojilu koje je potrebno resetirati u pravilnim vremenskim intervalima u toku programa. U suprotnom slučaju izvršava resetiranje mikroračunala ili prekid izvršenja jedne rutine. U gornjem programu već postoji jedan timer koji se u normalnom toku programa redovito resetira. Riječ je o timeru rezolucije jedne mikrosekunde koji mjeri trajanje impulsa dobivenog na prijemniku radio kontrolera. Taj timer koristi registar duljine 16 bita, tako da može izbrojati maksimalno 65,535 ms. Postavljena je podrutina koja u slučaju prelijevanja ovog registra smanjuje vrijednosti PWM signala na minimalnu vrijednost u kojoj su oba motora zaustavljena. Kako je frekvencija signala sa prijemnika veća od frekvencije prelijevanja ovog registra, neće doći do smetnji u redovnom toku programa.



**Slika 42. Modularna robotska platforma**

U prvim testovima sastavljene modularne robotske platforme dokazan je ispravan rad elektroničkih komponenti i mehaničkih dijelova te mogućnost manevriranja i upravljivost platforme. Ipak, problem je predstavljao nedostatak ovjesa. Tako se pri kretanju po tvrdoj neravnoj podlozi na primjer, na neravnom asfaltu može doći do odvajanja pojedinih kotača od podloge. To je uzrokovalo pogrešaka u vođenju i gubitku trakcije pogonskih kotača.

Korištenje ovakvih široko dostupnih sustava radio kontrole omogućava jeftino i jednostavno povezivanje sa ljudskim operaterom, ali za svrhe povezivanja sa vanjskom računalnom jedinicom poželjno je koristiti dvosmjernu serijsku vezu preko koje je moguće prenijeti znatno više informacija. Nakon umrežavanja robotske platforme sa upravljačkom jedinicom, moguće je zadavati mape prostora kroz koji će se robot kretati. Mape se mogu zadavati upisivanjem koordinata, ili vođenjem robota kroz željenu putanju ili granice kretanja. Zbog problema sa odometrijskim mjerenjima poželjno je lokalizaciju robota u prostoru provoditi korištenjem vanjskih referentnih točaka uz eventualnu nadopunu sa odometrijskim rezultatima.

#### 6.4. Sustavi lociranja

GPS(*eng. global positioning system – globalni sustav pozicioniranja*) sustav je koji koristi aktivne vanjske reference kako bi dobio podataka o poziciji prijemnika u odnosu na Zemaljsku os. Vanjske reference su sateliti, koji se održavaju na fiksnoj poziciji u Zemljinoj orbiti. Ovi sateliti odašilju signale koji između ostalog prenose informaciju o pripadnosti određenom satelitu, te o točnom vremenu, dobivenih od baždarenih atomskih satova kojima su opremljeni. Nakon što prijemnik prihvati četiri različita signala, može usporediti dobivene podatke o vremenu odašiljanja signala, sa baždarenim satom prijemnika. Na taj način dobiva vremena dolaska signala i iz toga odrediti podatke o udaljenosti od pojedinih satelita. Nakon toga je geometrijskim metodama moguće odrediti poziciju u odnosu na zemljinu os u preciznosti koja može varirati od 5 metara, do 30 metara, ovisno o uvjetima u atmosferi. Treba uzeti u obzir da je za određivanje početne pozicije nakon inicijalnog paljenja prijemnika potrebno proći nekoliko minuta. U tom periodu je glavni zadatak baždarenje sata prijemnika, pošto oni ne koriste precizne atomske satove, nego digitalne elektroničke oscilatore bazirane na rezonanciji quartzova kristala.

Na tržištu se nude i rješenja koja nude znatno veću preciznost od samog GPS-sustava. Ovi sustavi koriste napredne tehnologije interpretiranja GPS signala kao što je primjerice DGPS(*eng. differential global positioning system – diferencijalni globalni sustav pozicioniranja*), u kombinaciji sa ostalim sustavima globalnog pozicioniranja. Tu se osim više sustava koji poput GPS-a koriste satelite(GLONASS, DORIS, Galileo), koriste i sustavi sa odašiljačima smještenima na tlu(WAAS, LORAN). Kroz obradu podataka dobivenih iz više izvora, ovakvi sustavi mogu postići preciznosti u rasponima jednog metra. Ovakvi sustavi

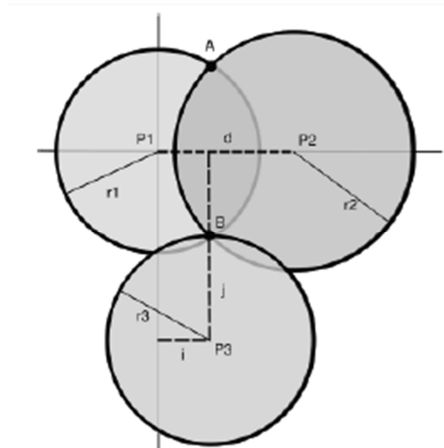
često se koriste u geodeziji i poljoprivredi. U poljoprivredi se koristi za praćenje granica velikih polja tijekom obrade, te za održavanje linija obrade, kako bi se smanjila mogućnost pretjerane obrade nekih dijelova polja, ili potpunog preskakanja drugih dijelova.

Princip rada koji koristi i globalni sustav pozicioniranja(GPS), može se iskoristiti i na lokalnoj razini, korištenjem jednostavnijih principa i pristupačnije opreme. Radi se o postupku geometrijske trilateracije. U tom postupku pozicija se određuje korištenjem podataka o udaljenosti robota od tri ili više vanjske reference. Kao vanjske reference mogu se koristiti aktivne ili pasivne reference objašnjene u poglavlju o autonomiji robota. Reference i senzori na robotu mogu biti raspoređeni u sljedeće konfiguracije:

1. Rotirajući/svesmjerni senzori sa fiksiranim aktivnim vanjskim referencama
2. Rotirajući/svesmjerni odašiljači na robotu sa prijemnicima na vanjskim referentnim točkama
3. Rotirajući usmjeren sklop prijamnika i predajnika sa pasivnim „*reflektirajućim*“ vanjskim referencama
4. Rotirajući/svesmjerni sklop prijemnika i odašiljača na robotu i na vanjskim referentnim točkama.

Prvi pretpostavljeni sustav koristio bi 3 odašiljača radio signala za vanjske reference. Ovi odašiljači bi u intervalima odašiljali signale koji bi sadržavali informaciju o svojoj pripadnosti pojedinoj referenci. Prijemnik na robotu zatim prima signal, određuje njegovu jakost i kvalitetu i određuje pripadnost tog signala pojedinoj referenci. Pošto je jakost i kvaliteta signala izravnoj vezi sa udaljenosti prijemnika od izvora signala sustav može odrediti udaljenost od pojedine reference. Nakon što bi na taj način odredio udaljenosti od tri različite reference, sustav može pristupiti geometrijskom proračunu iz kojeg dobiva poziciju robota. Za ovu svrhu su predloženi komercijalno dostupni prijemnici i odašiljači signala frekvencija 433 MHz, prvenstveno zbog jednostavnosti korištenja, ali i dometa koji variraju od 100 do 1000 m, ovisno o modelu i korištenoj anteni. Iako ovakav sustav naizgled ima mnogo prednosti, kao što je na primjer jednostavna implementacija i izostanak potrebe za održavanjem optičke vidljivosti, u praksi su se slični sustavi pokazali nepraktičnima. Problemi nastaju zbog prirode signala radijskih frekvencija koji stvaraju prilično nelinearno polje jakosti oko predajnika uz česte fluktuacije zbog vanjskih utjecaja ili međusobnog

djelovanja različitih signala i njihovih refleksija. U idealnim uvjetima i uz korištenje kompliciranih antenskih mreža moguće je ostvariti preciznosti u rasponu nekoliko centimetara, ali u normalnim uvjetima i uz korištenje dostupne opreme preciznost je usporediva ili lošija od one ostvarive sa GPS sustavima (10-15m) [25], [26].



**Slika 43. Objašnjenje uz postupak trilateracije**

Druga pretpostavljena opcija uz korištenje radio signala je mjerenje brzina dolaska signala. U ovom slučaju problem predstavlja previsoka brzina propagacije signala koja je jednaka brzini svjetlosti i iznosi 299 792 458 m/s. Dakle za dobivanje preciznosti od jednog metra potrebno je izmjeriti vremena trajanja manje od nanosekunde, što je nemoguć zadatak za većinu komercijalno dostupnih mikroprocesora ili računala.

Sustav baziran na mjerenju vremena dolaska signala moguće je ostvariti korištenjem zvuka kao nosioca signala pošto je brzina zvuka znatno manja od brzine svjetlosti. Kako bi se izbjeglo uznemiravanje osoba tijekom rada takvog sustava, koristio bi se ultrazvuk, pošto je on van granica ljudskog čujnog spektra. Funkcioniranje sustava za lociranje korištenjem aktivnih ultrazvučnih vanjskih referenci dokazani su u raznim eksperimentalnim postavima [27], [28], [29], [30]. U spomenutim eksperimentalnim postavima korišteni su dostupni ultrazvučni primopredajnici sa sabirnim elementima izrađenim u samogradnji koji su omogućili svesmjerni prijem signala. Najveći domet jednog takvog predajnika bio je 6 metara, a prosječna preciznost sustava iznosila je 2cm. Zamišljeni sustav koristio bi aktivne vanjske reference koje bi sadržavale svesmjerne ultrazvučne i infracrvene odašiljače. Oni bi istovremeno odašiljali infracrveni i ultrazvučni signal. Zatim bi se mjerila vremenski razmak između dolaska optičkog i ultrazvučnog signala na svesmjerne prijemnike montirane na

robotu. Pošto je brzina propagacije optičkog signala za nekoliko redova veličina veća od brzine propagacije zvučnih signala, i pošto je njegovo vrijeme dolaska praktički zanemarivo u normalnim radnim taktovima mikroprocesora, možemo uzeti da je vremenska razlika u dolasku dvaju signala jednaka vremenu putovanja zvučnog signala. Korištenjem dobivenog vremena moguće je izračunati udaljenost prijarnika od predajnika uz preciznost od otprilike 2 cm. U ovakvom sustavu problem predstavlja nedostatak odgovarajućih komponenti. Tako primjerice ne postoje dovoljno jaki ultrazvučni predajnici koji bi bez preinaka odašiljali signal u svim smjerovima. Zbog mogućnosti da sunčeva svjetlost ometa rad i infracrvenog podsustava, modifikacije su potrebne i na optičkim senzorima. Još jedan nedostatak ovakvog sustava je potreba za stalnom optičkom vidljivosti između predajnika na referentnim točkama i prijemnika na robotu.

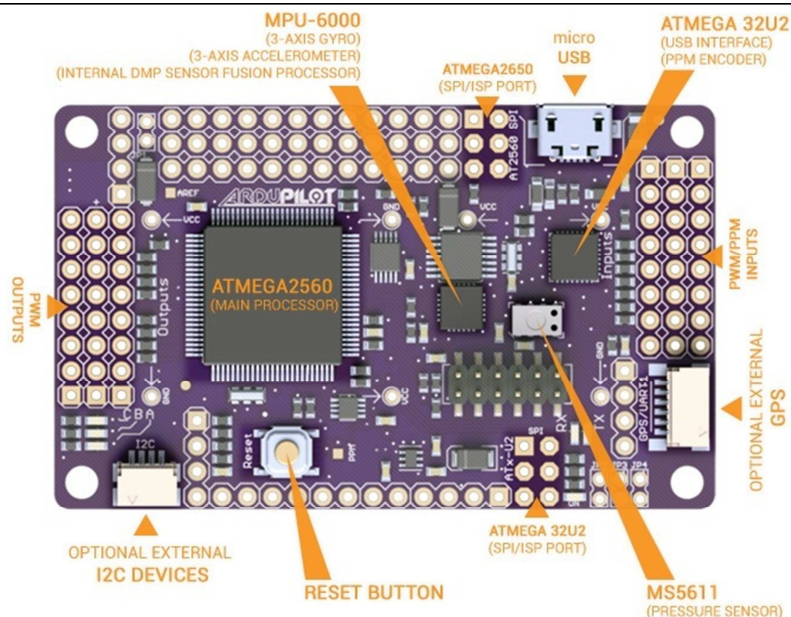
Još jedan zanimljiv postupak lociranja korištenjem geometrijskih principa je postupak triangulacije. U ovom postupku određuje se azimutski kut putanje robota u odnosu na vanjske referentne točke. Praktičan primjer takvog pristupa koristio bi uređaj koji rotira lasersku zraku u jednoj ravnini i fototranzistore ili druge senzore koji bi registrirali refleksiju odašlane zrake. To se može ostvariti montiranjem zrcala na vratilo elektromotora pod kutom od 45 stupnjeva u odnosu na bilo koju os simetrije. Zatim se laserska zraka nastoji usmjeriti tako da se što bolje poklapa sa osi vrtnje rotora elektromotora. Senzori se postavljaju što je moguće bliže laserskoj zraci, i to po mogućnosti više senzora u kućištu koje smanjuje utjecaj ambijetalne rasvjete. Za vanjske reference potrebno je postaviti reflektirajuće trake u visini koja se poklapa sa ravinom koju laserska zraka opisuje. Za potpunu lokalizaciju je dovoljno postaviti 3 takve trake. Zatim je postaviti senzor koji određuje puni okret laserske zrake. Pod uvjetom da se motor koji pokreće zrcalo kreće ravnomjerno, mjerenjem vremena koje protekne možemo dobiti kutove pod kojima senzor uočava reflektirane zrake. Vrijeme između dvije detekcije tako je proporcionalno kutu između dvije referentne točke po odnosu opisanom u jednadžbi (16)

$$\alpha = \frac{t_{\alpha}}{t_{uk}} \quad (16)$$

Gdje je  $\alpha$  kut koji nas zanima,  $t_{\alpha}$  vrijeme između detekcija dvije točke koje određuju kut  $\alpha$ , a  $t_{uk}$  vrijeme potpune rotacije laserske zrake.

Zanimljivu opciju predstavlja povezivanje sa ARDUpilot platformom. Radi se o samostalnom sustavu sa funkcijom autopilota, namijenjen prvenstveno za klasične aviomodelarske makete zrakoplova upravljane radiokontrolerima. Glavni procesor ove platforme je Atmega 2560 koji predstavlja sam vrh ponude atmelovih 8-bitnih mikrokontrolera. Od senzora koristi GPS senzor, magnetometar, osjetljivi barometar za dobivanje preciznih podataka o nadmorskoj visini i napredan uređaj za mjerenje kutnih i linearnih ubrzanja. Radi se o MPU-6000 uređaju tvrtke InvenSense[14]. Ovaj uređaj u integriranoj izvedbi objedinjuje 3-osni žiroskop i 3-osni akcelerometar sa procesorom koji vrši kalibraciju i obradu podataka i prenosi ih u digitalnom obliku. Korištenjem više senzora znatno se povećava preciznost određivanja točne pozicije u prostoru. Uz to ARDUpilot platforma sadrži i velik broj digitalnih i analognih ulaza i izlaza, kako bi se spajali dodatni senzori te motori letjelice. U mikroprocesor platforme uprogramiran je provjereni program, koji omogućava povezivanje sa računalom preko USB konektora. Tako se pomoću posebnog software-a mogu unijeti postavke o korištenim izlazima te GPS koordinata željenih točaka i nakon propisne aktivacije autopilota upravljano vozilo počinje izvršavati upisan program. Ovaj software uz to omogućava i dodatno ugađanje koeficijenata upravljačkih algoritama kako bi se ostvarila što veća preciznost sa svakim vozilom u koje se autopilot ugradi. Pošto platforma podržava i proširenje memorije sa komercijalnim memorijskim karticama, broj različitih koordinata koje se mogu upisati nadmašuje bilo koju praktičnu upotrebu. Implementirana je i podrška za povezivanje putem radio veze korištenjem xBee i 433Mhz protokola, što omogućuje dvosmjernu telemetriju i upravljanje vozilom tijekom izvršavanja programa. Tako je moguće implementirati i sustave za izbjegavanje prepreka ili planiranje putanje koji će se izvršavati na klijent računalu u vezi.





**Slika 44. Ardupilot platforma [15]**

Na ovoj platformi sadržane su najnaprednije široko dostupne tehnologije, i korišteni napredni algoritmi senzorske fuzije korištenjem proširenog Kalmanova filtera. Kao takva predstavlja generalni smjer u kojem se razvijaju GPS prijemnici. Za očekivati je da će proizvođači integriranih krugova unutar nekoliko godina na tržište izbaciti integriranu verziju vrlo sličnog uređaja, tako da eksperimentiranje sa ovakvim uređajem može donijeti do konkurentne prednosti u budućnosti.

Ovakav sustav pruža veliku fleksibilnost u eksperimentiranju sa različitim načinima vođenja uređaja u radu. Tako je na primjer moguće prije prve košnje pomoću daljinske kontrole uređaj provesti po rubovima travnjaka i pri tome spremati pozicije pojedinih točaka. Nakon toga je moguće na klijent računalu odrediti jednostavne granice površine koja se želi obraditi. Te granice je moguće dalje koristiti kao virtualnu „ukopanu žicu“ u sustavima nasumičnog kretanja, ili kao mapu u sustavima sa lociranjem. Druga opcija je definiranje kranjih točaka svakog radnog prolaza. Ovakav pristup podrazumijeva da kroz prvu košnju operater upravlja uređajem i pri tome definira pojedine točke.

Sustav lociranja potrebno je testirati, kako bi se saznalo, da li je njegova upotreba uopće opravdana. Potrebno je napraviti testove preciznosti lociranja, i testove odstupanja od zadane putanje. Odstupanje koje se može tolerirati je izraženo u duljini koja je jednaka 10%

širine radnog zahvata. Grešku u tim granicama je moguće anulirati uz ostvarivanje prihvatljivog preklopa u radnim prolascima stroja.

Najjednostavniji test sastoji se od opetovanog prijelaza između dvije točke. Točke je potrebno postaviti na značajnom razmaku, i pratiti kada fiksna točka na robotu izađe izvan toleriranog odstupanja. Pomoću dvije ručne štoperice potrebno je mjeriti ukupno vrijeme jednog prolaza, i ukupno vrijeme provedeno van tolerancijskih odstupanja tijekom istog prolaza. Nakon toga se iz tih izmjera može izračunati postotak vremena provedenog izvan tolerancijskog odstupanja.

$$e = \frac{t_e}{t_{uk}} \quad (17)$$

$t_e$  = vrijeme provedeno van tolerancijskih odstupanja [s] ,

$t_{uk}$  = ukupno vrijeme jednog ispitnog prolaza [s],

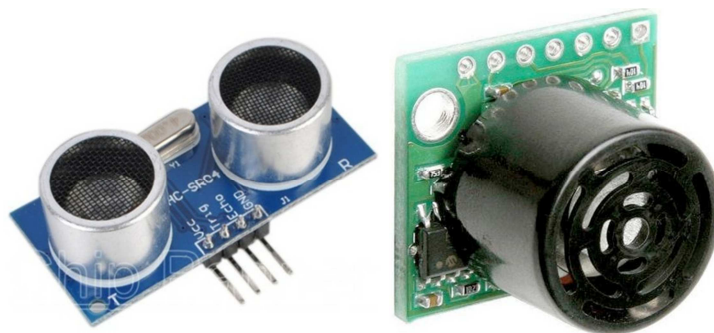
$e$  = postotak vremena proveden u kretanju izvan tolerancijskih odstupanja [%].

Na kraju svakog prolaza može se još izmjeriti preciznost lociranja, mjerenjem udaljenosti fiksne točke na robotu od pozicije iste točke u početnim lokacijama. Očekivano je da će ove udaljenosti biti u određenom rasponu, ali je neprihvatljivo da sustav ima kumulativnu grešku. Za ovakvo testiranje najprikladniji su sportski tereni sa iscrtanim dugim ravnim linijama, poput atletskih staza ili nogometnih igrališta. U nedostatku prostora, može se napraviti modificano ispitivanje, u kojem se robot kreće po stranicama četverokuta.

Zadovoljavajućim sustavom može se proglasiti onaj koji se 80% vremena nalazi unutar tolerancijskih odstupanja. Time se ostavlja manji dio posla koji u slučaju jednokratne košnje dovršava operater preko daljinske kontrole. U slučaju redovite programirane košnje, potrebno je postaviti intervale tako da između košnji ne dolazi do značajnih kozmetičkih razlika između dijelova obrađenih u prethodnoj košnji u odnosu na izostavljene dijelove. Također je očekivano da će po načelima vjerovatnosti u svakoj košnji različiti dijelovi travnjaka ostati nepokošeni, te će zbog normalne razdiobe odstupanja biti obrađeni sljedećim radnim ciklusom. Ako nijedan sustav ne zadovoljava predstavljene kriterije, predlaže se uporaba jednostavnog algoritma nasumičnog kretanja ili samo teleoperatorsko upravljanje.

## 6.5. Senzori

Osnovni zahtjev koju svaki mobilni robot mora imati je robustan algoritam za izbjegavanje prepreka. Iznimke su roboti koji će djelovati u uređenim sredinama, te roboti koji obavljaju spore, kontrolirane kretnje u ograničenom prostoru uz stalnu prisutnost operatera. Za detekciju prepreka postoji širok izbor kontaktnih i beskontaktnih senzora, te vizijski sustavi. Za automatsku robotiziranu kosilicu predlaže se korištenje više ultrazvučnih senzora udaljenosti. Ovi senzori bili bi raspoređeni tako da bi pokrivali najvažnije točke ispred i iza robota. Uz manja odstupanja ovisno o izvedbi, ovi senzori omogućuju mjerenja u rasponu od 3 centimetara do 5 metara uz preciznost od 0,5 cm. Kut zahvata senzora je  $15^\circ$ . Postoji i mogućnost montiranja senzora na programom kontrolirana zakretna postolja kako bi se smanjio broj potrebnih senzora.



**Slika 45. Različite izvedbe ultrazvučnih senzora**

U kontroler pogonskih motora već su implementirani senzori za mjerenje jakosti struje. U njihov upravljački program je moguće uprogramirati ograničenje struje, čime se smanjuje mogućnost oštećenja elektromotora ili pokušavanje „guranja“ prepreka u slučaju da ih je sustav za izbjegavanje previdio. U takvom slučaju kontakta sa čvrstom preprekom doći će do potrebe za većom strujom koju će ovi senzori registrirati. Korišteni kontroler dopušta i prijenos izmjera sa spomenutih senzora serijskom vezom do upravljačke jedinice. Tako se senzori struje mogu koristiti kao osnova za redundantni sustav izbjegavanja prepreka, a ne samo preventivno isključivanje pogona stroja.

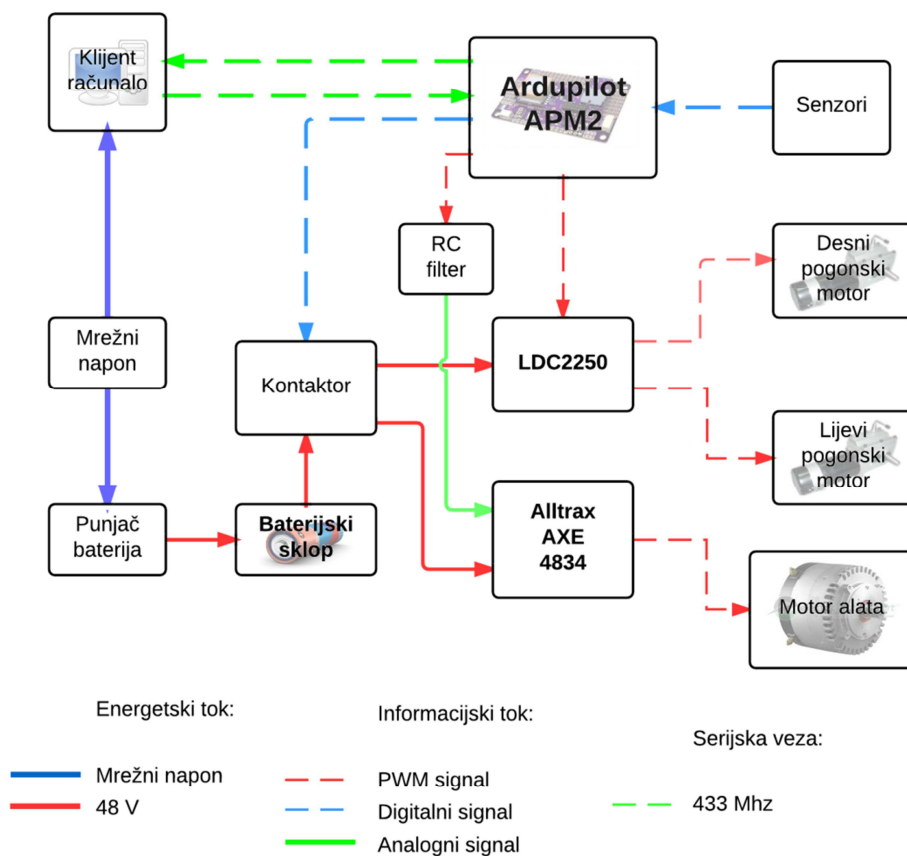
Radi predviđenog korištenja sustava lociranja, sustavi za odometrijska mjerenja su suvišni. Eventualno ih je moguće ugraditi radi redundancije ili korištenje njihovih mjerenja za povećanje točnosti korištenjem senzorske fuzije. Ovakav pristup je već implementiran u

Ardupilot platformu, gdje se za odometrijska mjerenja koristi integracija očitavanja inercijskih senzora.

Radi sigurnosti potrebno je implementirati sustav za isključenje alata prilikom takvog naginjanja tijekom kojeg je moguće da sječivo u radu bude izloženo dodirima. Tako se smanjuje opasnost u slučaju prevrtanja stroja, ili nestručnog dizanja tijekom rada. U ovu svrhu je također moguće koristiti inercijske senzore Ardupilot platforme, a moguće je koristiti i jednostavne gravitacijske senzore sa kapljicom žive ili metalnom kuglicom. Ovakvi senzori su dostupni po prihvatljivim cijenama i zahtijevaju pravilnu ugradnju pod kutom za koji je željeno da se aktiviraju.

## 6.6. Strujni krug

Na slici[Slika 46] je prikazana blokovska shema strujnog kruga uređaja baziranog na Ardupilot APM2 platformi. Slična shema vrijedila bi za bilo koji upravljački sustav, bio on autonoman ili teleoperaterski.



Slika 46. Blokovski prikaz strujnog kruga uređaja

## 7. ANALIZA TROŠKOVA

U sljedećoj tablici biti će prikazana detaljna analiza troškova dijelova potrebnih za izradu automatske robotizirane kosilice te troškova proizvodnje. Cijene pojedinih dijelova su bazirane na cijenama u dostupnim katalogima, te po slobodnim procjenama. Cijene izražene u stranim valutama konvertirane su u cijene u Hrvatskim kunama po tečaju Hrvatske narodne banke dana 30.11.2012.

**Tablica 7. Analiza troškova izrade stroja ARK-012**

Cjelina	Opis	jed. mjera	Cijena po jedinici	Količina	Cijena
Elektronika:	Alltrax AXE	kom	1885	1	1885
	Roboteq LDC2250	kom	1479	1	1479
	Ardupilot	kom	1160	1	1160
	433 Mhz veza	kom	435	1	435
	Kontaktor	kom	493	1	493
	DC-DC	kom	377	1	377
	Winston	kom	948	15	14420
	BMS	kom	500	1	500
	Punjač	kom	500	1	500
	Uv senzori	kom	120	5	600
	Dodatna oprema baterija				600
	Vodiči, spojna oprema				600
Elektromotori	Fracmo	kom	5000	2	10000
	ME-0709	kom	2755	1	2755
Sjecivo:	Kučište	kom	806	1	806
	Adapter	kom	46	1	46
	Nož 335083	kom	87	1	87
Strojni elementi	Lančanici	kom	50	6	300
	Lanci	m	74,65	5,26	393
	Ležajevi	kom	50	14	700
	Ostali(pera, vijci...)				400
Materijali	Čelični lim 5mm	kg	11	20	220
	Čelični lim 2mm	kg	10	10	100
	Čelična šipka 80 mm	kg	11	8	88

	Čelična šipka 40 mm	kg	11	6	66
	Čelična cijev 30x30x1,5	kg	11	5	55
Troškovi izrade	Rezanje laser	radni sat	900	1,5	1350
	Savijanje limova	radni sat	50	1	50
	Zavarivanje	radni sat	80	6	480
	Obrada odvajanjem čestica	radni sat	150	6	900
	Lijevanje polimernog kućišta	komad	300	1	300
	Montaža	radni sat	50	4	200
Ostalo:	Kotač 3,5-6	kom	300	4	1200
	Mazivo	kg	30	1	30
<b>Ukupno:</b>					<b>43 575</b>

U procjenu troškova nisu ubačeni troškovi razvoja, ali se može formirati raspon cijena gotovog proizvoda u granicama od 80 000 do 110 000 kn.

## 8. SMJERNICE ZA DALJNI RAZVOJ

Nakon sklapanja uređaja potrebno je provesti testiranja, kako bi se otklonili eventualni nedostaci i dokazalo ispravno obavljanje osnovnih funkcija poput kretanja te košnje. Zatim je potrebno isprobati ponašanje uređaja u različitim uvjetima košnje, dakle sa različitim brzinama kretanja tijekom rada, i različitim stanjima travnjaka. Iz tih podataka mogu se dobiti konkretni podaci koji mogu služiti kao osnova za provođenje promjena u pogonskom sustavu unaprijeđenih izvedbi uređaja. U slučaju da se pokaže da uređaj bez većih problema kosi i mokru te zaraslu travu, mogu se provesti eksperimenti sa većim radnim zahvatima, koji bi vjerovatno bili mogući u uvjetima redovite košnje. U tu svrhu je također moguće koristiti kućišta i noževe komercijalnih kosilica. Pri tome nije potrebno provoditi nikakve promjene u osnovnom sklopu uređaja, pošto cijeli sklop kosilice čini zasebnu cjelinu koja se se na uređaj montira sa 16 vijka M8, te električnim spajanjem motora alata. I sam sklop nosača elektromotora sa vratilom sječiva i samim sječivom može se bez uz manje preinake u vidu bušenja novog uzorka montažnih rupa ili izradom adapterske ploče namontirati na druge izvedbe kućišta kosilice.

Zahvaljujući modularnom pristupu pri konstruiranju ovog uređaja, uz manje modifikacije moguće ga je koristiti i u druge svrhe. Tako se mogu razviti uređaji namijenjeni za razne namjene gdje dolazi do potrebe za mobilnom robotskom platformom. Prostor unutar šasije može se iskoristiti za različite konfiguracije smještaja baterijskog sklopa, elektromotora i dodatnih komponenti. Dakle, moguće je i montiranje drugih alata, primjerice metilica, bacača snijega ili rasipača umjetnog gnojiva. Prikladni bi bili komercijalno dostupni alati namijenjeni za priključivanje na motokultivatore. Blizu centra rotacije uređaja moguće montirati i kuglastu spojku za vučene priključne uređaje. Time je omogućeno korištenje i mnogih vučenih uređaja za njegu travnjaka koji su namijenjeni za korištenje pri radu sa voženim motoriziranim kosilicama. Osim za priljučenje takvih priključnih alata, moguće je izraditi i prikolicu sa dodatnim baterijskim sklopovima za poboljšavanje energetske autonomije.

Jedna pretpostavljena uporaba je u uzgoju povrća, gdje bi se korištenjem sofisticiranijih senzora mogla koristiti za lokalizirano apliciranje pesticida ili dohranu gnojivima. Na taj način se može postići znatna ušteda, jer se klasičnim načinima raspršivanja velik dio raspršuje



u okoliš ili na tlo, a ne po biljkama gdje je to potrebno. Taj problem je posebno istaknut u ranim fazama razvoja biljaka gdje se one još nisu razrasle i zbog toga između pojedinih biljaka postoji znatan razmak zbog čega bi spomeniti gubici bili puno veći. Slični uređaji, koriste se za kontroliranje stanja bilja. U većini slučajeva takvi uređaji zahtijevaju teleoperatera koji vodi ispitivačku platformu po redovima usjeva. Pri tome stvara kartu usjeva na kojoj su označena područja koja je potrebno tretirati. Nakon toga se vrši tretiranje prolaskom samohodnih ili traktorskih prskalica opremljenih upravljačkim jedinicama i elektromagnetskim ventilima, koji se tijekom prolaza otvaraju u skladu sa prethodno snimljenom kartom usjeva. Jedan primjer takve mobilne robotske platforme koristi ultrazvučne senzore koji kontroliraju visinu biljaka i posebne senzora koji se koriste u agronomiji, a koji mjere reflektivnost listova bilja[31].

## 9. ZAKLJUČAK

Kao rezultat ovog rada projektiran je proizvod koji zadovoljava sve kriterije zadane u zadatku. Prvo je izvedena analiza postojećeg stanja na tržištu, nakon čega su određene glavne funkcije proizvoda i potrebe korisnika proizvoda. Na temelju ovih radnji izrađene su funkcijska dekompozicija i morfološka matrica. Nakon toga je generiran koncept na temelju kojeg je vršena daljnja konstrukcijska razrada. Zatim je nakon odabira standardnih komponenti poput elektromotora i elemenata prijenosa, krenuto na konstruiranje cijelog proizvoda sa svim sklopovima i podsklopovima u CAD programskom paketu. Prilikom samog konstruiranja prepoznat je problem nedostatka platformi za razvoj različitih mobilnih robota. Tako je u samoj šasiji planiran prostor za različit razmještaj komponenti, i eventualne nadogradnje konstrukcije. Konstruirani proizvod posjeduje svojstava i cijenu usporedivu sa komercijalno dostupnim rješenjima.

Ipak, potrebna su dodatna istraživanja na polju upravljačkog sustava proizvoda. Time se nastoji postići konkurentska prednost uporabom naprednih algoritama za upravljanje radom uređaja. Nastoji se povisiti stupanj autonomije te povećati iskoristivost rada tijekom košnje. Korak u tom smjeru učinjen je korištenjem razvojne platforme sa funkcijom vođenja mobilnih uređaja uz korištenje globalnog sustava pozicioniranja. Ova platforma kroz korištenje više naprednih senzora i kroz senzorsku fuziju njihovih očitavanja donosi znatno veću preciznost u lociranju uređaja u odnosu na zemljinu os. U bližoj budućnosti očekuje se dolazak sličnih izvedbi uređaja za globalno lociranje u integriranoj izvedbi. Uz to, mnoge tvrtke ulažu znatna sredstva u razvoj sustava sa povećanom preciznosti lociranja. Pošto većina mobilnih smartphone uređaja danas posjeduje sustav lociranja, nastoji se povećati preciznost na vrijednost manju od jednog metra, kako bi se omogućila navigacija pješaka i iskoristile nove mogućnosti oglašavanja. Zbog toga je moguće očekivati da će dovoljno precizni sustavi globalnog lociranja uskoro biti komercijalno dostupni, a korištenjem platforme opisane u ovome radu može pratiti korak sa spomenutim napretcima.

## LITERATURA

- [1] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1970.
- [2] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Golden marketing, Zagreb, 2006.
- [3] Herold, Z.: Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.
- [4] <http://www.ifr.org/service-robots/statistics/>
- [5] Evans, H.R.: A mechanical man, The New York Times, 15.travnja.1893.
- [6] Lucas, G.: Star wars: A new hope, 20th Century Fox, kinematografski uradak, 1977.
- [7] <http://www.csi.mt.gov/forms/CE/outline1.pdf>
- [8] <http://www.foxnews.com/story/0,2933,192465,00.html>
- [9] [http://www.irus.de/files/Prospekt\\_QUATRAK\\_\\_DE.pdf](http://www.irus.de/files/Prospekt_QUATRAK__DE.pdf)
- [10] <http://www.motorist.de/produkte.html>
- [11] Petrić, I: Mobilna robotika, autorska predavanja, Fakultet Elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2005.
- [12] Ulrich, K.T., Eppinger, S.D.: Product design and development; McGraw-Hill
- [13] <http://www.psfk.com/2012/01/robot-vacuum-light-paintings.html>
- [14] <http://www.invensense.com/mems/gyro/mpu6050.html>
- [15] <http://code.google.com/p/arducopter/wiki/APM2board>
- [16] Garden and forest, broj 1., str. 7, Chicago, 1888.
- [17] <http://www.greatmower.com/brill-razorcut.html>
- [18] [http://www.mowwithus.com/mulching\\_explained.html](http://www.mowwithus.com/mulching_explained.html)
- [19] Stojnović, M.: Osnove poljoprivrednog gospodarstva – praktikum riješenih zadataka, Visoko gospodarsko učilište, Križevci, 2009.
- [20] <http://www.fracmo.com/english/products.htm>
- [21] <http://lawnmowerclass.com>
- [22] Bosch cjenik 2011.
- [23] <http://www.motenergy.com/me0709.html>
- [24] <http://en.winston-battery.com/>
- [25] Basheer, R: Real Time Location Service Using Received Signal Strength Indicator, doktorski rad, Sveučilište znanosti i tehnologije, Missouri, 2012.

- 
- [26] Pereira, K.: An empirical investigation into a location sensing system based on RF signal strength of TinyOS motes, Computer Science Research and Writing, Sveučilište u Texasu, 2002.
- [27] Ivanjko, E.: Autonomna navigacija robota zasnovana na ultrazvučnim senzorima udaljenosti, doktorski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2009.
- [28] McCarthy, M., Muller, H.: Positioning with independent ultrasonic beacons, Sveučilište u Bristolu, Bristol, 2005.
- [29] Kim, D., Hwang, K., Lee, D., Kuc, T.: A Simple Ultrasonic GPS System for Indoor Mobile Robot System using Kalman Filtering, Sveučilište SungKyunKwan, 2006.
- [30] Hörmann, S: Entwicklung eines Ultraschall-basierten Ortungssystems für Lego Mindstorms Roboter, Sveučilište Christian Albrechts, Kiel, 2005.
- [31] Godoy, E.: Design and implementation of an electronic architecture for an agricultural mobile robot, Rev. bras. eng. agríc. ambient, vol.14, Campina Grande, 2010.